



SNI 03 - 1729 - 2002

SNI STANDAR NASIONAL INDONESIA

**TATA CARA
PERENCANAAN STRUKTUR BAJA
UNTUK BANGUNAN GEDUNG**



DEPARTEMEN PEKERJAAN UMUM

TATA CARA PERENCANAAN STRUKTUR BAJA UNTUK BANGUNAN GEDUNG

DAFTAR ISI

| | Halaman |
|--|-----------------------|
| DAFTAR ISI | i dari xix |
| DAFTAR GAMBAR | xvii dari xix |
| DAFTAR TABEL | xviii dari xix |
| 1. MAKSUD DAN TUJUAN | 1 dari 184 |
| 1.1 Maksud | 1 dari 184 |
| 1.2 Tujuan..... | 1 dari 184 |
| 2. RUANG LINGKUP DAN UMUM..... | 2 dari 184 |
| 3. ACUAN DAN PERSYARATAN-PERSYARATAN | 3 dari 184 |
| 3.1 Standar Nasional Indonesia | 3 dari 184 |
| 3.2 Persyaratan-persyaratan..... | 3 dari 184 |
| 3.1.1 Struktur | 3 dari 184 |
| 3.1.2 Penanggung jawab perhitungan..... | 4 dari 184 |
| 4. PENGERTIAN | 5 dari 184 |
| 4.1 Penggunaan material atau metode alternatif | 7 dari 184 |
| 4.1.1 Umum..... | 7 dari 184 |
| 4.1.2 Struktur yang telah berdiri..... | 7 dari 184 |
| 4.2 Perencanaan..... | 7 dari 184 |
| 4.2.1 Data perencanaan | 7 dari 184 |
| 4.2.2 Detail perencanaan | 8 dari 184 |
| 4.2.3 Pelaksanaan | 8 dari 184 |
| 5. MATERIAL | 9 dari 184 |

| | | |
|-----------|--|--------------------|
| 5.1 | Sifat mekanis baja | 9 dari 184 |
| 5.1.1 | Tegangan leleh | 9 dari 184 |
| 5.1.2 | Tegangan putus..... | 9 dari 184 |
| 5.1.3 | Sifat-sifat mekanis lainnya | 9 dari 184 |
| 5.2 | Baja struktural | 9 dari 184 |
| 5.2.1 | Syarat penerimaan baja | 9 dari 184 |
| 5.2.2 | Baja yang tidak teridentifikasi..... | 9 dari 184 |
| 5.3 | Alat sambung..... | 10 dari 184 |
| 5.3.1 | Baut, mur, dan ring..... | 10 dari 184 |
| 5.3.2 | Alat sambung mutu tinggi | 10 dari 184 |
| 5.3.3 | Las | 10 dari 184 |
| 5.3.4 | Penghubung geser jenis paku yang dilas..... | 10 dari 184 |
| 5.3.5 | Baut angker..... | 10 dari 184 |
| 6. | PERSYARATAN UMUM PERENCANAAN | 12 dari 184 |
| 6.1 | Ketentuan umum | 12 dari 184 |
| 6.2 | Beban-beban dan aksi lainnya..... | 12 dari 184 |
| 6.2.1 | Beban-beban..... | 12 dari 184 |
| 6.2.2 | Kombinasi pembebanan | 13 dari 184 |
| 6.2.3 | Aksi-aksi lainnya..... | 13 dari 184 |
| 6.2.4 | Gaya-gaya horisontal minimum yang perlu diperhitungkan | 14 dari 184 |
| 6.3 | Keadaan kekuatan batas | 14 dari 184 |
| 6.4 | Keadaan kemampuan-layan batas | 14 dari 184 |
| 6.4.1 | Umum..... | 14 dari 184 |
| 6.4.2 | Metode..... | 15 dari 184 |
| 6.4.3 | Batas-batas lendutan..... | 15 dari 184 |
| 6.4.4 | Getaran balok-balok | 16 dari 184 |
| 6.4.5 | Keadaan kemampuan-layan batas baut | 16 dari 184 |
| 6.4.6 | Perlindungan terhadap korosi | 16 dari 184 |
| 6.5 | Keadaan kekuatan dan kemampuan-layan batas dengan percobaan beban | 16 dari 184 |
| 6.6 | Kebakaran..... | 16 dari 184 |

| | | |
|-----------|--|--------------------|
| 6.7 | Gempa | 17 dari 184 |
| 6.8 | Persyaratan perencanaan lainnya..... | 17 dari 184 |
| 7. | BEBERAPA METODE DALAM ANALISIS STRUKTUR | 19 dari 184 |
| 7.4.1 | Beberapa metode dalam penentuan gaya-dalam | 19 dari 184 |
| 7.1.1 | Beberapa definisi | 19 dari 184 |
| 7.2 | Bentuk-bentuk struktur pada analisis struktur..... | 19 dari 184 |
| 7.2.1 | Struktur kaku | 20 dari 184 |
| 7.2.2 | Struktur semi-kaku | 20 dari 184 |
| 7.2.3 | Struktur sederhana..... | 20 dari 184 |
| 7.2.4 | Perencanaan sambungan..... | 20 dari 184 |
| 7.3 | Anggapan dalam analisis..... | 20 dari 184 |
| 7.3.1 | Panjang bentang | 21 dari 184 |
| 7.3.2 | Pengaturan beban hidup pada suatu gedung..... | 21 dari 184 |
| 7.3.3 | Struktur sederhana..... | 21 dari 184 |
| 7.4 | Analisis elastis..... | 22 dari 184 |
| 7.4.1 | Anggapan..... | 22 dari 184 |
| 7.4.2 | Pengaruh orde kedua | 22 dari 184 |
| 7.4.3 | Analisis orde pertama..... | 22 dari 184 |
| 7.5 | Analisis plastis..... | 25 dari 184 |
| 7.5.1 | Penerapan | 25 dari 184 |
| 7.5.2 | Batasan | 25 dari 184 |
| 7.5.3 | Anggapan analisis..... | 26 dari 184 |
| 7.6 | Analisis tekuk komponen struktur..... | 27 dari 184 |
| 7.6.1 | Gaya tekuk elastis..... | 27 dari 184 |
| 7.6.2 | Daya dukung nominal komponen struktur tekan | 27 dari 184 |
| 7.6.3 | Faktor panjang tekuk..... | 28 dari 184 |
| 7.6.4 | Batas kelangsingan..... | 29 dari 184 |
| 8. | KOMPONEN STRUKTUR LENTUR | 34 dari 184 |
| 8.1 | Perencanaan untuk lentur | 34 dari 184 |
| 8.1.1 | Lentur terhadap sumbu utama kuat | 34 dari 184 |

| | | |
|-------|---|-------------|
| 8.1.2 | Momen lentur terhadap sumbu lemah | 34 dari 184 |
| 8.1.3 | Analisis plastis..... | 34 dari 184 |
| 8.1.4 | Lentur terhadap sumbu sebarang (bukan sumbu utama)..... | 35 dari 184 |
| 8.1.5 | Kombinasi lentur dengan gaya geser atau aksial..... | 35 dari 184 |
| 8.2 | Kuat nominal lentur penampang dengan pengaruh tekuk lokal | 35 dari 184 |
| 8.2.1 | Batasan momen | 35 dari 184 |
| 8.2.2 | Kelangsingan penampang..... | 36 dari 184 |
| 8.2.3 | Penampang kompak | 36 dari 184 |
| 8.2.4 | Penampang tak-kompak | 36 dari 184 |
| 8.2.5 | Penampang langsing..... | 36 dari 184 |
| 8.3 | Kuat lentur nominal penampang dengan pengaruh tekuk lateral | 37 dari 184 |
| 8.3.1 | Batasan momen | 37 dari 184 |
| 8.3.2 | Pengekang lateral | 37 dari 184 |
| 8.3.3 | Bentang pendek | 37 dari 184 |
| 8.3.4 | Bentang menengah | 38 dari 184 |
| 8.3.5 | Bentang panjang | 38 dari 184 |
| 8.4 | Kuat lentur nominal balok pelat berdinding penuh | 38 dari 184 |
| 8.4.1 | Batasan momen | 38 dari 184 |
| 8.4.2 | Kuat lentur berdasarkan faktor kelangsingan | 39 dari 184 |
| 8.4.3 | Kasus $\lambda_G \leq \lambda_p$ | 40 dari 184 |
| 8.4.4 | Kasus $\lambda_p \leq \lambda_G \leq \lambda_r$ | 40 dari 184 |
| 8.4.5 | Kasus $\lambda_r \leq \lambda_G$ | 40 dari 184 |
| 8.5 | Kasus-kasus lain | 41 dari 184 |
| 8.5.1 | Batasan perhitungan | 41 dari 184 |
| 8.5.2 | Cara perhitungan | 41 dari 184 |
| 8.6 | Pelat badan | 41 dari 184 |
| 8.6.1 | Persyaratan | 41 dari 184 |
| 8.6.2 | Definisi panel pelat badan | 42 dari 184 |
| 8.6.3 | Tebal minimum panel pelat badan | 42 dari 184 |
| 8.7 | Perencanaan pelat badan | 42 dari 184 |

| | | |
|--------|--|-------------|
| 8.7.1 | Pelat badan yang tidak diperkaku..... | 42 dari 184 |
| 8.7.2 | Pengaku pemikul beban..... | 43 dari 184 |
| 8.7.3 | Pelat penguat samping..... | 43 dari 184 |
| 8.7.4 | Pelat badan dengan pengaku vertikal | 43 dari 184 |
| 8.7.5 | Pelat badan dengan pengaku memanjang dan vertikal..... | 43 dari 184 |
| 8.7.6 | Ketebalan pelat untuk komponen struktur yang dianalisis secara plastis..... | 44 dari 184 |
| 8.7.7 | Lubang di pelat badan | 45 dari 184 |
| 8.8 | Kuat geser pelat badan | 45 dari 184 |
| 8.8.1 | Kuat geser..... | 45 dari 184 |
| 8.8.2 | Kuat geser nominal..... | 45 dari 184 |
| 8.8.3 | Kuat geser..... | 46 dari 184 |
| 8.8.4 | Kuat tekuk geser elasto-plastis | 46 dari 184 |
| 8.8.5 | Kuat tekuk geser elastis..... | 47 dari 184 |
| 8.9 | Interaksi geser dan lentur | 47 dari 184 |
| 8.9.1 | Kuat geser pelat badan dengan adanya momen lentur | 47 dari 184 |
| 8.9.2 | Metode distribusi..... | 47 dari 184 |
| 8.9.3 | Metode interaksi geser dan lentur | 48 dari 184 |
| 8.10 | Gaya tekan tumpu..... | 48 dari 184 |
| 8.10.1 | Kuat tumpu | 48 dari 184 |
| 8.10.2 | Lentur pelat sayap | 49 dari 184 |
| 8.10.3 | Kuat leleh pelat badan | 49 dari 184 |
| 8.10.4 | Kuat tekuk dukung pelat badan | 49 dari 184 |
| 8.10.5 | Kuat tekuk lateral pelat badan | 50 dari 184 |
| 8.10.6 | Kuat tekuk lentur pelat badan..... | 50 dari 184 |
| 8.10.7 | Kuat geser daerah panel | 50 dari 184 |
| 8.11 | Perencanaan pengaku penumpu beban..... | 51 dari 184 |
| 8.11.1 | Ukuran pengaku | 51 dari 184 |
| 8.11.2 | Lebar pengaku | 51 dari 184 |
| 8.11.3 | Tebal pengaku | 51 dari 184 |
| 8.12 | Perencanaan pengaku vertikal | 51 dari 184 |
| 8.12.1 | Pemasangan pengaku | 51 dari 184 |

| | | |
|------------|--|--------------------|
| 8.12.2 | Luas minimum..... | 52 dari 184 |
| 8.12.3 | Kekakuan minimum | 52 dari 184 |
| 8.13 | Perencanaan pengaku memanjang..... | 52 dari 184 |
| 8.13.1 | Pemasangan | 52 dari 184 |
| 8.13.2 | Kekakuan minimum | 53 dari 184 |
| 8.14 | Daerah panel..... | 53 dari 184 |
| 8.14.1 | Kuat geser daerah panel | 53 dari 184 |
| 8.14.2 | Perhitungan R_v | 53 dari 184 |
| 8.14.3 | Syarat pelat perkuatan | 54 dari 184 |
| 8.15 | Pengekang lateral | 54 dari 184 |
| 9. | KOMPONEN STRUKTUR TEKAN | 55 dari 184 |
| 9.1 | Perencanaan akibat gaya tekan..... | 55 dari 184 |
| 9.2 | Kuat tekan rencana akibat tekuk lentur-torsi..... | 55 dari 184 |
| 9.3 | Komponen struktur tersusun prismatis dengan elemen yang dihubungkan oleh pelat melintang dan memikul gaya sentris | 56 dari 184 |
| 9.4 | Komponen struktur tersusun prismatis dengan elemen yang dihubungkan oleh unsur diagonal dan memikul gaya sentris | 60 dari 9.5 |
| 9.5 | Komponen struktur tersusun yang tidak mempunyai sumbu bahan..... | 61 dari 184 |
| 9.6 | Komponen struktur tersusun yang jarak antaranya sama dengan tebal pelat kopel | 63 dari 184 |
| 9.7 | Komponen struktur tak-prismatis dengan gaya tekan sentris | 64 dari 184 |
| 9.8 | Komponen struktur tekan pada struktur rangka batang bidang | 67 dari 184 |
| 9.8.1 | Tekan pada komponen struktur tepi | 67 dari 184 |
| 9.8.2 | Tekan pada batang-batang diagonal dan vertikal | 68 dari 184 |
| 9.9 | Kolom pada bangunan portal | 69 dari 184 |
| 10. | KOMPONEN STRUKTUR YANG MENGALAMI GAYA TARIK AKSIAL | 70 dari 184 |
| 10.1 | Kuat tarik rencana | 70 dari 184 |

| | | |
|------------|---|--------------------|
| 10.2 | Penampang efektif..... | 70 dari 184 |
| 10.2.1 | Kasus gaya tarik hanya disalurkan oleh baut | 71 dari 184 |
| 10.2.2 | Kasus gaya tarik disalurkan oleh las memanjang..... | 71 dari 184 |
| 10.2.3 | Kasus gaya tarik disalurkan oleh las melintang | 72 dari 184 |
| 10.2.4 | Kasus gaya tarik disalurkan oleh las sepanjang dua sisi | 72 dari 184 |
| 10.3 | Komponen struktur tersusun dari dua buah profil atau lebih | 72 dari 184 |
| 10.3.1 | Umum..... | 72 dari 184 |
| 10.3.2 | Beban rencana untuk sambungan | 72 dari 184 |
| 10.3.3 | Komponen struktur tarik tersusun dari dua buah profil yang saling membelakangi | 73 dari 184 |
| 10.3.4 | Komponen struktur tarik dengan penghubung | 73 dari 184 |
| 10.4 | Komponen struktur tarik dengan sambungan pen..... | 74 dari 184 |
| 11. | KOMPONEN STRUKTUR KOMPOSIT | 75 dari 184 |
| 11.1 | Umum..... | 75 dari 184 |
| 11.2 | Gaya dan momen terfaktor | 75 dari 184 |
| 11.3 | Komponen struktur dengan penampang simetris yang mengalami momen lentur dan gaya aksial | 75 dari 184 |
| 11.4 | Komponen struktur dengan penampang tak-simetris, dan komponen struktur yang mengalami pembebanan torsi dan kombinasi..... | 78 dari 184 |
| 12. | KETENTUAN PERENCANAAN TAHAN GEMPA UNTUK STRUKTUR BANGUNAN BAJA | 80 dari 184 |
| 12.1 | Ruang lingkup | 80 dari 184 |
| 12.2 | Prinsip-prinsip dasar perencanaan..... | 80 dari 184 |
| 12.2.1 | Penentuan gaya yang bekerja | 80 dari 184 |
| 12.2.2 | Analisis elastis..... | 80 dari 184 |
| 12.2.3 | Analisis plastis..... | 80 dari 184 |
| 12.2.4 | Distribusi tegangan plastis..... | 80 dari 184 |
| 12.2.5 | Distribusi tegangan elastis..... | 81 dari 184 |

| | | |
|------------|--|--------------------|
| 12.2.6 | Balok komposit penuh..... | 81 dari 184 |
| 12.2.7 | Balok komposit parsial..... | 81 dari 184 |
| 12.2.8 | Balok baja yang diberi selubung beton | 82 dari 184 |
| 12.2.9 | Kolom komposit..... | 82 dari 184 |
| 12.3 | Komponen struktur tekan | 82 dari 184 |
| 12.3.1 | Batasan | 82 dari 184 |
| 12.3.2 | Kuat rencana..... | 83 dari 184 |
| 12.3.3 | Kolom komposit yang tersusun atas beberapa profil baja.... | 84 dari 184 |
| 12.3.4 | Penyaluran beban | 84 dari 184 |
| 12.4 | Komponen struktur lentur | 84 dari 184 |
| 12.4.1 | Lebar efektif pelat beton..... | 84 dari 184 |
| 12.4.2 | Kekuatan balok komposit dengan penghubung geser | 85 dari 184 |
| 12.4.3 | Kekuatan balok baja yang diberi selubung beton..... | 86 dari 184 |
| 12.4.4 | Kekuatan struktur selama pelaksanaan..... | 86 dari 184 |
| 12.4.5 | Dek baja bergelombang..... | 88 dari 184 |
| 12.4.6 | Kuat geser rencana | 89 dari 184 |
| 12.5 | Kombinasi tekan dan lentur..... | 90 dari 184 |
| 12.6 | Penghubung geser..... | 90 dari 184 |
| 12.6.1 | Bahan..... | 91 dari 184 |
| 12.6.2 | Gaya geser horizontal..... | 91 dari 184 |
| 12.6.3 | Kekuatan penghubung geser jenis paku | 91 dari 184 |
| 12.6.4 | Kekuatan penghubung geser kanal..... | 92 dari 184 |
| 12.6.5 | Jumlah penghubung geser yang diperlukan | 92 dari 184 |
| 12.6.6 | Penempatan dan jarak antar penghubung geser | 92 dari 184 |
| 12.7 | Kasus khusus | 93 dari 184 |
| 13. | SAMBUNGAN..... | 94 dari 184 |
| 13.1 | Umum..... | 94 dari 184 |
| 13.1.1 | Penjelasan..... | 94 dari 184 |
| 13.1.2 | Klasifikasi sambungan | 95 dari 184 |
| 13.1.3 | Perencanaan sambungan..... | 95 dari 184 |
| 13.1.4 | Kuat rencana minimum sambungan..... | 96 dari 184 |

| | | |
|---------|---|--------------|
| 13.1.5 | Pertemuan..... | 97 dari 184 |
| 13.1.6 | Pemilihan alat pengencang..... | 97 dari 184 |
| 13.1.7 | Sambungan kombinasi | 97 dari 184 |
| 13.1.8 | Gaya ungkit | 98 dari 184 |
| 13.1.9 | Komponen sambungan | 98 dari 184 |
| 13.1.10 | Pengurangan luas akibat baut | 98 dari 184 |
| 13.1.11 | Sambungan pada profil berongga..... | 99 dari 184 |
| 13.2 | Perencanaan baut..... | 99 dari 184 |
| 13.2.1 | Jenis baut | 99 dari 184 |
| 13.2.2 | Kekuatan baut..... | 99 dari 184 |
| 13.2.3 | Sambungan tanpa slip..... | 102 dari 184 |
| 13.3 | Kelompok baut | 103 dari 184 |
| 13.3.1 | Kelompok baut yang memikul pembebanan sebidang..... | 103 dari 184 |
| 13.3.2 | Kelompok baut yang memikul pembebanan tidak sebidang..... | 103 dari 184 |
| 13.3.3 | Kelompok baut yang menerima beban kombinasi sebidang dan tidak sebidang | 103 dari 184 |
| 13.4 | Tata letak baut | 103 dari 184 |
| 13.4.1 | Jarak..... | 103 dari 184 |
| 13.4.2 | Jarak tepi minimum | 104 dari 184 |
| 13.4.3 | Jarak maksimum..... | 104 dari 184 |
| 13.4.4 | Jarak tepi maksimum..... | 104 dari 184 |
| 13.4.5 | Lubang..... | 104 dari 184 |
| 13.5 | Las | 104 dari 184 |
| 13.5.1 | Lingkup | 104 dari 184 |
| 13.5.2 | Las tumpul penetrasi penuh dan sebagian..... | 105 dari 184 |
| 13.5.3 | Las sudut..... | 107 dari 184 |
| 13.5.4 | Las pengisi..... | 110 dari 184 |
| 13.6 | Kelompok las..... | 111 dari 184 |
| 13.6.1 | Kelompok las yang memikul pembebanan dalam bidang.. | 111 dari 184 |
| 13.6.2 | Kelompok las yang memikul pembebanan luar bidang | 112 dari 184 |
| 13.6.3 | Kelompok las yang memikul pembebanan dalam dan luar bidang | 112 dari 184 |

| | | |
|------------|---|---------------------|
| 14. | KETAHANAN API | 113 dari 184 |
| 14.1 | Umum..... | 113 dari 184 |
| 14.2 | Beberapa definisi..... | 113 dari 184 |
| 14.3 | Penentuan periode kelayakan struktural..... | 114 dari 184 |
| 14.4 | Variasi sifat-sifat mekanis baja terhadap temperatur | 115 dari 184 |
| 14.4.1 | Variasi tegangan leleh terhadap temperatur | 115 dari 184 |
| 14.4.2 | Variasi modulus elastisitas terhadap temperatur | 115 dari 184 |
| 14.5 | Penentuan temperatur batas baja | 116 dari 184 |
| 14.6 | Penentuan waktu tercapainya temperatur batas untuk komponen struktur yang terlindung..... | 117 dari 184 |
| 14.6.1 | Metode..... | 117 dari 184 |
| 14.6.2 | Temperatur yang didasarkan pada rangkaian pengujian | 117 dari 184 |
| 14.6.3 | Temperatur yang didasarkan pada pengujian tunggal..... | 119 dari 184 |
| 14.7 | Penentuan waktu tercapainya temperatur batas untuk komponen struktur yang tak-terlindung | 120 dari 184 |
| 14.8 | Penentuan Periode Kelayakan Struktural (PKS) dari suatu pengujian tunggal | 120 dari 184 |
| 14.9 | Kondisi terekspos api tiga-sisi..... | 121 dari 184 |
| 14.10 | Pertimbangan-pertimbangan khusus | 121 dari 184 |
| 14.10.1 | Sambungan-sambungan..... | 121 dari 184 |
| 14.10.2 | Penetrasi pelat badan. | 121 dari 184 |
| 15. | KETENTUAN PERENCANAAN TAHAN GEMPA UNTUK STRUKTUR BANGUNAN BAJA | 124 dari 184 |
| 15.1 | Ketentuan umum | 124 dari 184 |
| 15.2 | Parameter beban gempa..... | 124 dari 184 |
| 15.3 | Beban, kombinasi beban, dan kuat nominal..... | 125 dari 184 |
| 15.3.1 | Beban dan kombinasi beban..... | 125 dari 184 |
| 15.3.2 | Kuat nominal | 126 dari 184 |
| 15.4 | Simpangan antar lantai | 126 dari 184 |
| 15.4.1 | Simpangan inelastis maksimum | 126 dari 184 |

| | | |
|---------|---|--------------|
| 15.4.2 | Batasan simpangan antar lantai | 126 dari 184 |
| 15.5 | Bahan..... | 127 dari 184 |
| 15.5.1 | Spesifikasi bahan..... | 127 dari 184 |
| 15.5.2 | Sifat bahan dalam menentukan kuat perlu sambungan dan komponen struktur yang terkait | 127 dari 184 |
| 15.6 | Persyaratan kolom | 128 dari 184 |
| 15.6.1 | Kekuatan kolom | 128 dari 184 |
| 15.6.2 | Sambungan kolom..... | 128 dari 184 |
| 15.7 | Persyaratan untuk Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) | 129 dari 184 |
| 15.7.1 | Ruang lingkup | 129 dari 184 |
| 15.7.2 | Sambungan balok-ke-kolom..... | 129 dari 184 |
| 15.7.3 | Daerah panel pada sambungan balok-ke-kolom | 130 dari 184 |
| 15.7.4 | Batasan-batasan terhadap balok dan kolom | 132 dari 184 |
| 15.7.5 | Pelat terusan | 132 dari 184 |
| 15.7.6 | Perbandingan momen kolom terhadap momen balok | 132 dari 184 |
| 15.7.7 | Kekangan pada sambungan balok-ke-kolom | 134 dari 184 |
| 15.7.8 | Pengekang lateral pada balok | 135 dari 184 |
| 15.8 | Persyaratan untuk Sistem Rangka Pemikul Momen Terbatas (SRPMT)..... | 135 dari 184 |
| 15.8.1 | Ruang lingkup | 135 dari 184 |
| 15.8.2 | Sambungan balok-ke-kolom..... | 136 dari 184 |
| 15.8.3 | Batasan-batasan terhadap balok dan kolom | 136 dari 184 |
| 15.8.4 | Pengekang lateral pada balok | 136 dari 184 |
| 15.9 | Persyaratan untuk Sistem Rangka Pemikul Momen Biasa (SRPMB) | 137 dari 184 |
| 15.9.1 | Ruang lingkup | 137 dari 184 |
| 15.9.2 | Sambungan balok-ke-kolom..... | 137 dari 184 |
| 15.9.3 | Pelat terusan | 138 dari 184 |
| 15.10 | Persyaratan untuk Sistem Rangka Batang Pemikul Momen Khusus (SRBPMK) | 139 dari 184 |
| 15.10.1 | Ruang lingkup | 139 dari 184 |

| | | |
|------------|--|---------------------|
| 15.10.2 | Segmen khusus | 139 dari 184 |
| 15.10.3 | Kuat nominal batang pada segmen khusus..... | 140 dari 184 |
| 15.10.4 | Kuat nominal batang bukan segmen khusus | 140 dari 184 |
| 15.10.5 | Kekompakan..... | 140 dari 184 |
| 15.10.6 | Bresing lateral..... | 141 dari 184 |
| 15.11 | Persyaratan untuk Sistem Rangka Bresing Konsentrik Khusus (SRBKK) | 141 dari 184 |
| 15.11.1 | Ruang lingkup | 141 dari 184 |
| 15.11.2 | Batang bresing..... | 141 dari 184 |
| 15.11.3 | Sambungan batang bresing..... | 143 dari 184 |
| 15.11.4 | Persyaratan khusus untuk konfigurasi bresing khusus | 143 dari 184 |
| 15.11.5 | Kolom..... | 144 dari 184 |
| 15.12 | Persyaratan untuk Sistem Rangka Bresing Konsentrik Biasa (SRBKB) | 144 dari 184 |
| 15.12.1 | Ruang lingkup | 144 dari 184 |
| 15.12.2 | Batang Bresing | 145 dari 184 |
| 15.12.3 | Sambungan batang bresing..... | 146 dari 184 |
| 15.12.4 | Persyaratan khusus untuk konfigurasi bresing | 147 dari 184 |
| 15.12.5 | Bangunan-bangunan rendah | 147 dari 184 |
| 15.13 | Persyaratan untuk Sistem Rangka Bresing Eksentrik (SRBE) | 147 dari 184 |
| 15.13.1 | Ruang lingkup | 147 dari 184 |
| 15.13.2 | Link | 148 dari 184 |
| 15.13.3 | Pengaku Link..... | 149 dari 184 |
| 15.13.4 | Sambungan Link-ke-kolom..... | 150 dari 184 |
| 15.13.5 | Pengekang lateral pada Link | 151 dari 184 |
| 15.13.6 | Batang bresing dan balok di luar Link | 151 dari 184 |
| 15.13.7 | Sambungan balok-ke-kolom..... | 152 dari 184 |
| 15.13.8 | Beban terfaktor kolom..... | 152 dari 184 |
| 16. | PENG GAMBARAN..... | 155 dari 184 |
| 16.1 | Aturan penggambaran | 155 dari 184 |

| | | |
|------------|--|---------------------|
| 16.2 | Informasi yang harus ditunjukkan pada gambar | 155 dari 184 |
| 16.3 | Penggambaran balok badan terbuka..... | 155 dari 184 |
| 17. | PABRIKASI | 157 dari 184 |
| 17.1 | Umum..... | 157 dari 184 |
| 17.2 | Material | 157 dari 184 |
| 17.3 | Prosedur pabrikasi | 157 dari 184 |
| 17.3.1 | Cara-cara | 157 dari 184 |
| 17.3.2 | Sambungan tumpu kontak penuh | 158 dari 184 |
| 17.3.3 | Pemotongan..... | 158 dari 184 |
| 17.3.4 | Pengelasan..... | 159 dari 184 |
| 17.3.5 | Pelubangan | 159 dari 184 |
| 17.3.6 | Ukuran lubang | 159 dari 184 |
| 17.3.7 | Pembautan | 161 dari 184 |
| 17.3.8 | Sambungan pen | 162 dari 184 |
| 17.4 | Toleransi..... | 162 dari 184 |
| 17.4.1 | Umum..... | 162 dari 184 |
| 17.4.2 | Penampang melintang | 162 dari 184 |
| 17.4.3 | Batang tekan..... | 166 dari 184 |
| 17.4.4 | Balok | 167 dari 184 |
| 17.4.5 | Batang tarik | 167 dari 184 |
| 18. | MENDIRIKAN BANGUNAN | 169 dari 184 |
| 18.1 | Umum..... | 169 dari 184 |
| 18.1.1 | Penolakan bagian struktur yang telah berdiri | 169 dari 184 |
| 18.1.2 | Keamanan waktu mendirikan bangunan | 169 dari 184 |
| 18.1.3 | Tumpuan peralatan..... | 169 dari 184 |
| 18.1.4 | Suhu referensi..... | 169 dari 184 |
| 18.2 | Prosedur mendirikan bangunan | 170 dari 184 |
| 18.2.1 | Umum..... | 170 dari 184 |
| 18.2.2 | Pengangkutan, penyimpanan, dan pengangkatan..... | 170 dari 184 |
| 18.2.3 | Perakitan dan penyetelan..... | 170 dari 184 |

| | | |
|------------|--|---------------------|
| 18.2.4 | Perakitan sambungan dan pengencangan baut | 171 dari 184 |
| 18.2.5 | Metode Pengencangan..... | 172 dari 184 |
| 18.3 | Toleransi..... | 174 dari 184 |
| 18.3.1 | Lokasi baut angker | 174 dari 184 |
| 18.3.2 | Perletakan kolom..... | 175 dari 184 |
| 18.3.3 | Pengelotan pada komponen struktur tekan..... | 176 dari 184 |
| 18.3.4 | Sambungan kolom..... | 176 dari 184 |
| 18.3.5 | Ketinggian dan penyetelan balok | 176 dari 184 |
| 18.3.6 | Posisi komponen struktur tarik..... | 177 dari 184 |
| 18.3.7 | Ukuran bangunan secara keseluruhan | 177 dari 184 |
| 18.4 | Pemeriksaan terhadap sambungan baut..... | 179 dari 184 |
| 18.4.1 | Baut tarik | 179 dari 184 |
| 18.4.2 | Komponen yang rusak..... | 179 dari 184 |
| 18.5 | Grouting pada tumpuan | 179 dari 184 |
| 18.5.1 | Landasan komponen struktur tekan dan balok | 179 dari 184 |
| 18.5.2 | Grouting..... | 180 dari 184 |
| 19. | PERUBAHAN STRUKTUR YANG SUDAH ADA..... | 181 dari 184 |
| 19.1 | Umum..... | 181 dari 184 |
| 19.2 | Material | 181 dari 184 |
| 19.3 | Pembersihan | 181 dari 184 |
| 19.4 | Pengaturan khusus..... | 181 dari 184 |
| 19.4.1 | Pengelasan dan pemotongan | 181 dari 184 |
| 19.4.2 | Urutan pengelasan | 181 dari 184 |
| 20. | PENGUJIAN STRUKTUR ATAU KOMPONEN | |
| | STRUKTUR | 182 dari 184 |
| 20.1 | Umum..... | 182 dari 184 |
| 20.1.1 | Ruang lingkup | 182 dari 184 |
| 20.1.2 | Hal-hal yang memerlukan pengujian | 182 dari 184 |
| 20.2 | Definisi | 182 dari 184 |
| 20.3 | Persyaratan pengujian..... | 182 dari 184 |

| | | |
|--------|--|--------------|
| 20.4 | Pengujian pembuktian | 183 dari 184 |
| 20.4.1 | Penerapan | 183 dari 184 |
| 20.4.2 | Beban uji..... | 183 dari 184 |
| 20.4.3 | Kriteria penerimaan..... | 183 dari 184 |
| 20.5 | Pengujian prototipe..... | 183 dari 184 |
| 20.5.1 | Benda uji..... | 183 dari 184 |
| 20.5.2 | Beban uji..... | 183 dari 184 |
| 20.5.3 | Kriteria penerimaan..... | 184 dari 184 |
| 20.5.4 | Penerimaan unit-unit yang diproduksi | 184 dari 184 |
| 20.6 | Laporan pengujian..... | 184 dari 184 |

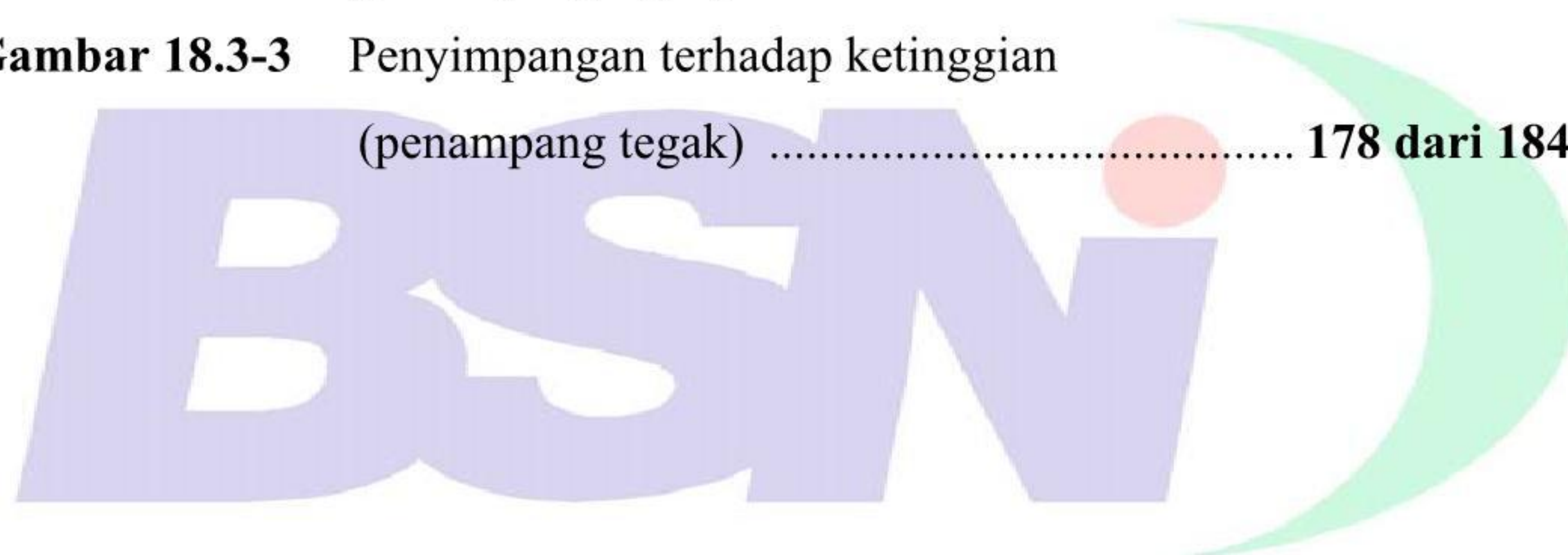
LAMPIRAN A DAFTAR NOTASI



DAFTAR GAMBAR

| Gambar | Judul | Halaman |
|---------------|--|--------------|
| Gambar 7.5-1 | Simbol untuk beberapa variabel penampang. | 32 dari 184 |
| Gambar 7.6-1 | Nilai k_c untuk kolom dengan ujung-ujung yang ideal | 32 dari 184 |
| Gambar 7.6-2 | (a) Nilai k_c untuk komponen struktur tak bergoyang, dan (b) untuk komponen struktur bergoyang. | 33 dari 184 |
| Gambar 9.3-1 | ..... | 57 dari 184 |
| Gambar 9.3-2 | ..... | 58 dari 184 |
| Gambar 9.4-1 | ..... | 61 dari 184 |
| Gambar 9.5-1 | ..... | 63 dari 184 |
| Gambar 9.6-1 | ..... | 63 dari 184 |
| Gambar 9.7-1 | ..... | 64 dari 184 |
| Gambar 9.7-2. | ..... | 65 dari 184 |
| Gambar 9.7-3 | ..... | 66 dari 184 |
| Gambar 9.8-1 | ..... | 68 dari 184 |
| Gambar 9.8-2 | ..... | 69 dari 184 |
| Gambar 9.8-3 | ..... | 69 dari 184 |
| Gambar 12.4 | Persyaratan untuk dek baja bergelombang. | 87 dari 184 |
| Gambar 13.1-1 | Lubang selang-seling. | 98 dari 184 |
| Gambar 13.1-2 | Siku dengan lubang pada kedua kaki. | 99 dari 184 |
| Gambar 13.5-1 | Transisi ketebalan las tumpul yang memikul gaya tarik | 106 dari 184 |
| Gambar 13.5-2 | Ukuran las sudut. | 107 dari 184 |
| Gambar 14.4 | Variasi sifat mekanis baja terhadap temperatur | 116 dari 184 |
| Gambar 14.6. | Definisi daerah interpolasi | 119 dari 184 |
| Gambar 14.9 | Ketentuan-ketentuan kondisi terekspos api tiga-sisi | 122 dari 184 |
| Gambar 14.10 | Penetrasi pelat badan | 123 dari 184 |

| | | |
|----------------------|--|---------------------|
| Gambar 17.4-1 | Toleransi pada suatu penampang melintang | 164 dari 184 |
| Gambar 17.7-2 | Toleransi pada badan | 164 dari 184 |
| Gambar 17.4-3 | Toleransi pada bentuk dari suatu penampang kotak tersusun | 165 dari 184 |
| Gambar 17.4-4 | Toleransi untuk penyimpangan badan dari sumbu | 165 dari 184 |
| Gambar 17.4-5 | Toleransi terhadap ketidak-rataan suatu flens .. | 166 dari 184 |
| Gambar 17.4-6 | Toleransi ketidak-sikuan ujung pemotongan ... | 166 dari 184 |
| Gambar 17.4-7 | Pengukuran lawan lendut dan lendutan kesamping | 168 dari 184 |
| Gambar 18.3-1 | Toleransi peletakan baut angker. | 175 dari 184 |
| Gambar 18.3-2 | Penyimpangan terhadap panjang (penampang tegak) | 178 dari 184 |
| Gambar 18.3-3 | Penyimpangan terhadap ketinggian (penampang tegak) | 178 dari 184 |



DAFTAR TABEL

| Tabel | Judul | Halaman |
|---------------------|--|---------------------|
| Tabel 5.3 | Sifat mekanis baja struktural..... | 11 dari 184 |
| Tabel 6.4 -1 | Batas lendutan maksimum. | 15 dari 184 |
| Tabel 6.4-2 | Faktor reduksi (ϕ) untuk keadaan kekuatan batas. | 18 dari 184 |
| Tabel 7.5-1 | Perbandingan maksimum lebar terhadap tebal untuk elemen tertekan (f_y dinyatakan dalam MPa, simbol mengacu pada Gambar 7.5-1) | 30 dari 184 |
| Tabel 8.3-1 | Momen kritis untuk tekuk lateral | 37 dari 184 |
| Tabel 8.3.2 | Bentang untuk pengekangan lateral | 38 dari 184 |
| Tabel 9.7-1 | Nilai-nilai c_b , c_{lx} , dan c_{ly} . untuk Gambar 9.7-1b | 65 dari 184 |
| Tabel 9.7-2 | Nilai-nilai c_b , c_{lx} , dan c_{ly} . untuk Gambar 9.7-2 | 65 dari 184 |
| Tabel 9.7-3a | Nilai c_{lx} . untuk Gambar 9.7-3 | 66 dari 184 |
| Tabel 9.7-3b | Nilai c_{ly} . untuk Gambar 9.7-3 | 66 dari 184 |
| Tabel 13.4-1 | Jarak Tepi Minimum | 104 dari 184 |
| Tabel 13.5-1 | Ukuran minimum las sudut. | 108 dari 184 |
| Tabel 15.2-1 | Tabel di bawah ini menunjukkan klasifikasi sistem struktur, sistem pemikul beban gempa, faktor modifikasi respons, R , dan faktor kuat cadang struktur, Ω_0 | 153 dari 184 |
| Tabel 15.7-1 | Nilai batas perbandingan lebar terhadap tebal, λ_p , untuk elemen tekan | 154 dari 184 |

| | | |
|---------------------|--|---------------------|
| Tabel 17.3 | Kekasaran Permukaan Potongan Maksimum | 159 dari 184 |
| Tabel 18.2-1 | Gaya tarik baur minimum | 172 dari 184 |
| Tabel 18.2-2 | Putaran mur dari kondisi kencang tangan | 173 dari 184 |
| Tabel 20.5 | Faktor-faktor untuk memperhitungkan variabilitas dari unit struktural | 184 dari 184 |



1. MAKSUD DAN TUJUAN

1.1 Maksud

Maksud Tata Cara Perencanaan Struktur Baja untuk Bangunan Gedung ini adalah sebagai acuan bagi para perencana dan pelaksana dalam melakukan pekerjaan perencanaan dan pelaksanaan struktur baja.

1.2 Tujuan

Tujuan tata cara ini adalah untuk mengarahkan terciptanya pekerjaan perencanaan dan pelaksanaan baja yang memenuhi ketentuan minimum serta mendapatkan hasil pekerjaan struktur yang aman, nyaman, dan ekonomis.



2. RUANG LINGKUP DAN UMUM

Standar ini meliputi persyaratan-persyaratan umum serta ketentuan-ketentuan teknis perencanaan dan pelaksanaan struktur baja untuk bangunan gedung, atau struktur bangunan lain yang mempunyai kesamaan karakter dengan struktur gedung.

Tata cara ini mencakup:

- 1) ketentuan-ketentuan minimum untuk merencanakan, fabrikasi, mendirikan bangunan, dan modifikasi atau renovasi pekerjaan struktur baja, sesuai dengan metode perencanaan keadaan batas;
- 2) perencanaan struktur bangunan gedung atau struktur lainnya, termasuk keran yang terbuat dari baja;
- 3) struktur dan material bangunan berikut:
 - a) komponen struktur baja, dengan tebal lebih dari 3 mm;
 - b) tegangan leleh (f_y) komponen struktur kurang dari 450 MPa;

Komponen struktur canai dingin harus direncanakan sesuai dengan ketentuan lain yang berlaku. Bangunan-bangunan yang tidak dicakup dalam 1, 2, dan 3 di atas direncanakan dengan ketentuan lain yang berlaku.

3. ACUAN DAN PERSYARATAN-PERSYARATAN

3.1 Standar Nasional Indonesia

Semua baja struktural sebelum difabrikasi, harus memenuhi ketentuan berikut ini:

| | |
|---------------------|--|
| SK SNI S-05-1989-F: | Spesifikasi Bahan Bangunan Bagian B (Bahan Bangunan dari Besi/baja); |
| SNI 07-0052-1987: | Baja Kanal Bertepi Bulat Canai Panas, Mutu dan Cara Uji; |
| SNI 07-0068-1987: | Pipa Baja Karbon untuk Konstruksi Umum, Mutu dan Cara Uji; |
| SNI 07-0138-1987: | Baja Kanal C Ringan; |
| SNI 07-0329-1989: | Baja Bentuk I Bertepi Bulat Canai Panas, Mutu dan Cara Uji; |
| SNI 07-0358-1989-A: | Baja, Peraturan Umum Pemeriksaan; |
| SNI 07-0722-1989: | Baja Canai Panas untuk Konstruksi Umum; |
| SNI 07-0950-1989: | Pipa dan Pelat Baja Bergelombang Lapis Seng; |
| SNI 07-2054-1990: | Baja Siku Sama Kaki Bertepi Bulat Canai Panas, Mutu dan Cara Uji; |
| SNI 07-2610-1992: | Baja Profil H Hasil Pengelasan dengan Filter untuk Konstruksi Umum; |
| SNI 07-3014-1992: | Baja untuk Keperluan Rekayasa Umum; |
| SNI 07-3015-1992: | Baja Canai Panas untuk Konstruksi dengan Pengelasan; |
| SNI 03-1726-1989: | Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Rumah dan Gedung. |

Ketentuan tambahan yang berbentuk SNI dan ketentuan-ketentuan pengganti ketentuan di atas.

3.2 Persyaratan-persyaratan

3.2.1 Struktur

Dalam perencanaan struktur baja harus dipenuhi syarat-syarat berikut:

- 1) analisis struktur harus dilakukan dengan cara-cara mekanika teknik yang baku;
- 2) analisis dengan komputer, harus memberitahukan prinsip cara kerja program dan harus ditunjukkan dengan jelas data masukan serta penjelasan data keluaran;

- 3) percobaan model diperbolehkan bila diperlukan untuk menunjang analisis teoritis;
- 4) analisis struktur harus dilakukan dengan model-model matematis yang mensimulasikan keadaan struktur yang sesungguhnya dilihat dari segi sifat bahan dan kekakuan unsur-unsurnya;
- 5) bila cara perhitungan menyimpang dari tata cara ini, maka harus mengikuti persyaratan sebagai berikut:
 - (1) struktur yang dihasilkan dapat dibuktikan dengan perhitungan dan atau percobaan yang cukup aman;
 - (2) tanggung jawab atas penyimpangan, dipikul oleh perencana dan pelaksana yang bersangkutan;
 - (3) perhitungan dan atau percobaan tersebut diajukan kepada panitia yang ditunjuk oleh pengawas bangunan, yang terdiri dari ahli-ahli yang diberi wewenang menentukan segala keterangan dan cara-cara tersebut. Bila perlu, panitia dapat meminta diadakan percobaan ulang, lanjutan atau tambahan. Laporan panitia yang berisi syarat-syarat dan ketentuan-ketentuan penggunaan cara tersebut mempunyai kekuatan yang sama dengan tata cara ini.

3.2.2 Penanggung jawab perhitungan

Nama penanggung jawab hasil perhitungan harus ditulis dan dibubuhi tanda tangan serta tanggal yang jelas.

4. PENGERTIAN

Yang dimaksud dengan:

- 1) **aksi** adalah penyebab terjadinya tegangan atau deformasi pada struktur;
- 2) **beban** adalah suatu gaya yang bekerja dari luar;
- 3) **daktilitas** adalah kemampuan struktur atau komponennya untuk melakukan deformasi inelastis bolak-balik berulang di luar batas titik leleh pertama, sambil mempertahankan sejumlah besar kemampuan daya dukung bebannya;
- 4) **faktor reduksi** adalah suatu faktor yang dipakai untuk mengalikan kuat nominal untuk mendapatkan kuat rencana;
- 5) **keadaan batas** adalah setiap kondisi batas, yang di luar batas ini struktur tidak akan dapat lagi memenuhi fungsi yang direncanakan;
- 6) **ketentuan yang berlaku** adalah ketentuan yang memenuhi Butir 3.1 dan 3.2;
- 7) **komponen struktur tak bergoyang** adalah komponen struktur, yang perpindahan transversal satu ujung terhadap ujung lainnya pada komponen struktur vertikal, dikekang secara efektif;
- 8) **kondisi terekspos api tiga sisi** adalah komponen struktur baja yang salah satu bidang sisinya bersentuhan dengan beton atau lantai atau dinding pasangan;
- 9) **kondisi terekspos api empat sisi** adalah suatu komponen struktur baja yang menghadap api pada seluruh bidang sisinya;
- 10) **kuat perlu** adalah kuat yang diperlukan oleh komponen struktur yang ditentukan oleh persyaratan bangunan tahan gempa;
- 11) **kuat rencana** adalah perkalian antara kuat nominal dengan faktor reduksi;
- 12) **las tumpul penetrasi penuh** adalah suatu las tumpul, yang fusinya terjadi diantara material las dan metal induk, meliputi seluruh ketebalan sambungan las;
- 13) **las tumpul penetrasi sebagian** adalah suatu las tumpul yang kedalaman penetrasinya kurang dari seluruh ketebalan sambungan;
- 14) **pengaruh aksi atau pengaruh beban** adalah gaya-dalam atau momen lentur akibat aksi atau beban-beban yang bekerja;
- 15) **pengaruh aksi beban rencana** adalah efek aksi atau efek beban yang dihitung dari aksi rencana atau beban rencana;

- 16) ***pengganti standar*** adalah standar dalam bentuk SII atau SNI yang dibuat menggantikan standar yang saat ini berlaku;
- 17) ***pengaruh aksi terfaktor*** adalah efek aksi atau efek beban yang didapat dari kombinasi pembebanan pada Butir 6.2.2;
- 18) ***pengencangan penuh*** adalah suatu metode memasang dan menarik suatu baut yang sesuai dengan Butir 18.2.4. dan 18.2.5;
- 19) ***pembebanan gaya sebidang*** adalah pembebanan yang gaya-gaya rencana dan momen lenturnya bekerja pada bidang sambungan, sehingga efek aksi rencana yang bekerja pada komponen sambungan hanya berbentuk gaya-gaya geser saja;
- 20) ***panjang batang tekan*** adalah panjang sebenarnya (L) suatu komponen struktur yang dibebani gaya aksial tekan, diambil dari panjang antara pusat-ke-pusat perpotongan dengan komponen struktur penyangga atau panjang kantilever dalam kasus komponen struktur yang berdiri bebas;
- 21) ***rangka kaku*** adalah suatu rangka struktur yang gaya-gaya lateralnya dipikul oleh sistem struktur dengan sambungan-sambungannya direncanakan secara kaku dan komponen strukturnya direncanakan untuk memikul efek gaya aksial, gaya geser, lentur, dan torsi;
- 22) ***rasio kelangsingan geometri*** adalah rasio kelangsingan geometri (L_k/r), diambil sebagai panjang efektif (L_k), yang diatur dalam Butir 7.6.3 atau 9.3, dibagi dengan jari-jari girasi (r), yang dihitung untuk penampang kotor terhadap sumbu yang relevan;
- 23) ***rasio luas permukaan ekspos*** adalah rasio atau perbandingan luas permukaan yang menghadap api terhadap massa baja;
- 24) ***sambungan tipe tumpu*** adalah sambungan yang terjadi dengan menggunakan baut atau baut mutu tinggi yang dikencangkan menurut batas tarik baut minimum tertentu, sehingga gaya-gaya rencana dipindahkan dengan tumpuan dan gesekan pada baut dan elemen-elemen sambungan pada keadaan kekuatan batas;
- 25) ***sambungan tipe geser*** adalah sambungan yang didapat dengan menggunakan baut mutu tinggi yang dikencangkan menurut batas tarik minimum tertentu sedemikian hingga hasil aksi jepitan menyalurkan gaya geser rencana pada keadaan batas layan yang bekerja pada bidang kontak bersama akibat gesekan yang terjadi antara bidang-bidang kontak;
- 26) ***sistem ganda*** terdiri dari a) rangka ruang yang memikul seluruh beban gravitasi, b) pemikul beban lateral berupa dinding geser atau rangka bresing dengan rangka pemikul momen. Rangka

pemikul momen harus direncanakan secara terpisah dan mampu memikul sekurang-kurangnya 25% dari seluruh beban lateral, c) kedua sistem harus direncanakan mampu memikul secara bersama-sama seluruh beban lateral dengan memperhatikan interaksi sistem ganda suatu sistem struktur yang gaya-gaya lateralnya dipikul oleh rangka ruang pemikul momen daktail, yang bekerja sejajar dengan dinding geser atau rangka diperkaku dan yang memenuhi persyaratan pada Tabel 15.2-1 untuk suatu sistem pengaku ganda;

- 27) *sistem perlindungan api* adalah material pelindung kebakaran beserta metode pelapisannya pada komponen struktur baja;
- 28) *tingkat ketahanan api* adalah periode atau derajat ketahanan terhadap api bagi kelayakan struktur baja, dinyatakan dalam menit, yang harus dipenuhi untuk dicapai dalam pengujian api standar;
- 29) *umur bangunan* adalah periode/waktu selama suatu struktur dipersyaratkan untuk tetap berfungsi seperti yang direncanakan;

4.1 Penggunaan material atau metode alternatif

4.1.1 Umum

Standar ini tidak dimaksudkan sebagai penghalang untuk menggunakan material atau metode perencanaan atau pelaksanaan yang tidak tercantum di dalamnya, selama ketentuan-ketentuan pada Butir 6 tetap dipenuhi.

4.1.2 Struktur yang telah berdiri

Bilamana kekuatan dan kemampuan layan suatu struktur bangunan yang telah berdiri harus dievaluasi maka prinsip-prinsip umum standar ini harus diterapkan. Perilaku material struktur yang sebenarnya tetap harus digunakan.

4.2 Perencanaan

4.2.1 Data perencanaan

Data perencanaan berikut harus tercantum pada gambar kerja

- 1) nomor rujukan dan tanggal standar perencanaan yang digunakan (yang masih berlaku);
- 2) beban-beban nominal;

- 3) proteksi karat, jika diperlukan;
- 4) taraf ketahanan kebakaran, jika diperlukan;
- 5) mutu baja yang digunakan.

4.2.2 Detail perencanaan

Gambar-gambar kerja atau spesifikasi atau kedua-duanya untuk komponen struktur atau struktur baja secara keseluruhan harus mencantumkan hal-hal berikut:

- 1) ukuran dan peruntukan tiap-tiap komponen struktur;
- 2) ukuran dan kategori baut dan pengelasan yang digunakan pada sambungan-sambungan;
- 3) ukuran-ukuran komponen sambungan;
- 4) lokasi dan detail titik kumpul, serta sambungan dan sambungan lewatan yang direncanakan;
- 5) setiap kendala pada saat pelaksanaan yang diasumsikan dalam perencanaan;
- 6) lawan lendut untuk setiap komponen struktur;
- 7) ketentuan-ketentuan lainnya.

4.2.3 Pelaksanaan

Seluruh struktur baja yang direncanakan menurut standar ini, harus dilaksanakan sedemikian rupa sehingga dapat dijamin dengan baik ketentuan-ketentuan yang dipersyaratkan dalam perencanaan, seperti yang tercantum dalam gambar dan spesifikasinya.

5. MATERIAL

5.1 Sifat mekanis baja

Sifat mekanis baja struktural yang digunakan dalam perencanaan harus memenuhi persyaratan minimum yang diberikan pada Tabel 5.3.

5.1.1 Tegangan leleh

Tegangan leleh untuk perencanaan (f_y) tidak boleh diambil melebihi nilai yang diberikan Tabel 5.3.

5.1.2 Tegangan putus

Tegangan putus untuk perencanaan (f_u) tidak boleh diambil melebihi nilai yang diberikan Tabel 5.3.

5.1.3 Sifat-sifat mekanis lainnya

Sifat-sifat mekanis lainnya baja struktural untuk maksud perencanaan ditetapkan sebagai berikut:

Modulus elastisitas : $E = 200.000 \text{ MPa}$
 Modulus geser : $G = 80.000 \text{ MPa}$
 Nisbah poisson : $\mu = 0,3$
 Koefisien pemuaian : $\alpha = 12 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$

5.2 Baja struktural

5.2.1 Syarat penerimaan baja

Laporan uji material baja di pabrik yang disahkan oleh lembaga yang berwenang dapat dianggap sebagai bukti yang cukup untuk memenuhi persyaratan yang ditetapkan dalam standar ini.

5.2.2 Baja yang tidak teridentifikasi

Baja yang tidak teridentifikasi boleh digunakan selama memenuhi ketentuan berikut ini:

- 1) bebas dari cacat permukaan;
- 2) sifat fisik material dan kemudahannya untuk dilas tidak mengurangi kekuatan dan kemampuan layan strukturnya;

- 3) ditest sesuai ketentuan yang berlaku. Tegangan leleh (f_y) untuk perencanaan tidak boleh diambil lebih dari 170 MPa sedangkan tegangan putusnya (f_u) tidak boleh diambil lebih dari 300 MPa.

5.3 Alat sambung

5.3.1 Baut, mur, dan ring

Baut, mur, dan ring harus memenuhi ketentuan yang berlaku.

5.3.2 Alat sambung mutu tinggi

Alat sambung mutu tinggi boleh digunakan bila memenuhi ketentuan berikut:

- 1) komposisi kimiawi dan sifat mekanisnya sesuai dengan ketentuan yang berlaku;
- 2) diameter batang, luas tumpu kepala baut, dan mur atau penggantinya, harus lebih besar dari nilai nominal yang ditetapkan dalam ketentuan yang berlaku. Ukuran lainnya boleh berbeda;
- 3) cara penarikan baut dan prosedur pemeriksaan untuk alat sambung boleh berbeda dari ketentuan Butir 18.2.5 dan Butir 18.4 selama persyaratan gaya tarik minimum alat sambung pada Tabel 18.2-1 dipenuhi dan prosedur penarikannya dapat diperiksa.

5.3.3 Las

Material pengelasan dan logam las harus sesuai dengan ketentuan yang berlaku.

5.3.4 Penghubung geser jenis paku yang dilas

Semua penghubung geser jenis paku yang dilas harus sesuai dengan ketentuan yang berlaku.

5.3.5 Baut angker

Baut angker harus memenuhi ketentuan Butir 5.3.1 atau dibuat dari batang yang memenuhi ketentuan yang tercakup dalam Butir 3 selama ulirnya memenuhi ketentuan yang berlaku.

Tabel 5.3 Sifat mekanis baja struktural

| Jenis Baja | Tegangan putus minimum, f_u (MPa) | Tegangan leleh minimum, f_y (MPa) | Peregangan minimum (%) |
|------------|---|---|------------------------------|
| BJ 34 | 340 | 210 | 22 |
| BJ 37 | 370 | 240 | 20 |
| BJ 41 | 410 | 250 | 18 |
| BJ 50 | 500 | 290 | 16 |
| BJ 55 | 550 | 410 | 13 |



6. PERSYARATAN UMUM PERENCANAAN

6.1 Ketentuan umum

Tujuan perencanaan struktur adalah untuk menghasilkan suatu struktur yang stabil, cukup kuat, mampu-layan, awet, dan memenuhi tujuan-tujuan lainnya seperti ekonomi dan kemudahan pelaksanaan.

Suatu struktur disebut stabil bila ia tidak mudah terguling, miring, atau tergeser, selama umur bangunan yang direncanakan.

Suatu struktur disebut cukup kuat dan mampu-layan bila kemungkinan terjadinya kegagalan-struktur dan kehilangan kemampuan layan selama masa hidup yang direncanakan adalah kecil dan dalam batas yang dapat diterima.

Suatu struktur disebut awet bila struktur tersebut dapat menerima keausan dan kerusakan yang diharapkan terjadi selama umur bangunan yang direncanakan tanpa pemeliharaan yang berlebihan.

6.2 Beban-beban dan aksi lainnya

6.2.1 Beban-beban

Perencanaan suatu struktur untuk keadaan-keadaan stabil batas, kekuatan batas, dan kemampuan-layan batas harus memperhitungkan pengaruh-pengaruh dari aksi sebagai akibat dari beban-beban berikut ini:

- 1) beban hidup dan mati seperti disyaratkan pada SNI 03-1727-1989 atau penggantinya;
- 2) untuk perencanaan keran (alat pengangkat), semua beban yang relevan yang disyaratkan pada SNI 03-1727-1989, atau penggantinya;
- 3) untuk perencanaan pelataran tetap, lorong pejalan kaki, tangga, semua beban yang relevan yang disyaratkan pada SNI 03-1727-1989, atau penggantinya;
- 4) untuk perencanaan lift, semua beban yang relevan yang disyaratkan pada SNI 03-1727-1989, atau penggantinya;
- 5) pembebanan gempa sesuai dengan SNI 03-1726-1989, atau penggantinya;
- 6) beban-beban khusus lainnya, sesuai dengan kebutuhan.

6.2.2 Kombinasi pembebanan

Berdasarkan beban-beban tersebut di atas maka struktur baja harus mampu memikul semua kombinasi pembebanan di bawah ini:

$$1,4D \quad (6.2-1)$$

$$1,2D + 1,6 L + 0,5 (L_a \text{ atau } H) \quad (6.2-2)$$

$$1,2D + 1,6 (L_a \text{ atau } H) + (\gamma_L L \text{ atau } 0,8W) \quad (6.2-3)$$

$$1,2D + 1,3 W + \gamma_L L + 0,5 (L_a \text{ atau } H) \quad (6.2-4)$$

$$1,2D \pm 1,0E + \gamma_L L \quad (6.2-5)$$

$$0,9D \pm (1,3W \text{ atau } 1,0E) \quad (6.2-6)$$

Keterangan:

D adalah beban mati yang diakibatkan oleh berat konstruksi permanen, termasuk dinding, lantai, atap, plafon, partisi tetap, tangga, dan peralatan tetap

L adalah beban hidup yang ditimbulkan oleh penggunaan gedung, termasuk kejut, tetapi tidak termasuk beban lingkungan seperti angin, hujan, dan lain-lain

L_a adalah beban hidup di atap yang ditimbulkan selama perawatan oleh pekerja, peralatan, dan material, atau selama penggunaan biasa oleh orang dan benda bergerak

H adalah beban hujan, tidak termasuk yang diakibatkan genangan air

W adalah beban angin

E adalah beban gempa, yang ditentukan menurut SNI 03-1726-1989, atau penggantinya

dengan,

$$\gamma_L = 0,5 \text{ bila } L < 5 \text{ kPa, dan } \gamma_L = 1 \text{ bila } L \geq 5 \text{ kPa.}$$

Kekecualian: Faktor beban untuk L di dalam kombinasi pembebanan pada persamaan 6.2-3, 6.2-4, dan 6.2-5 harus sama dengan 1,0 untuk garasi parkir, daerah yang digunakan untuk pertemuan umum, dan semua daerah di mana beban hidup lebih besar daripada 5 kPa.

6.2.3 Aksi-aksi lainnya

Setiap aksi yang dapat mempengaruhi kestabilan, kekuatan, dan kemampuan-layan struktur, termasuk yang disebutkan di bawah ini, harus diperhitungkan:

- 1) gerakan-gerakan pondasi;
- 2) perubahan temperatur;
- 3) deformasi aksial akibat ketaksesuaian ukuran;
- 4) pengaruh-pengaruh dinamis;
- 5) pembebanan pelaksanaan.

Jika ada pengaruh struktural akibat beban yang ditimbulkan oleh fluida (F), tanah (S), genangan air (P), dan/atau temperatur (T) harus ditinjau dalam kombinasi pembebanan di atas dengan menggunakan faktor beban: $1,3F$, $1,6S$, $1,2P$, dan $1,2T$, sehingga menghasilkan kombinasi pembebanan yang paling berbahaya.

6.2.4 Gaya-gaya horisontal minimum yang perlu diperhitungkan

Pada struktur bangunan berlantai banyak harus dianggap bekerja gaya-gaya horisontal fiktif masing-masing sebesar 0,002 kali beban vertikal yang bekerja pada setiap lantai. Gaya-gaya horisontal fiktif ini harus dianggap bekerja bersama-sama hanya dengan beban mati dan beban hidup rencana dari SNI 03-1727-1989, atau penggantinya dan dibandingkan dengan persamaan (6.2-5) dan (6.2-6) untuk menghasilkan kombinasi pembebanan yang lebih berbahaya untuk keadaan-keadaan kekuatan batas dan kemampuan-layan batas. Gaya-gaya horisontal fiktif ini tidak boleh dimasukkan untuk keadaan kestabilan batas.

6.3 Keadaan kekuatan batas

Komponen struktur beserta sambungannya harus direncanakan untuk keadaan kekuatan batas sebagai berikut:

- 1) beban-beban dan aksi-aksi harus ditentukan sesuai dengan Butir 6.2.1 dan 6.2.3 dan beban-beban keadaan kekuatan batas harus ditentukan sesuai dengan Butir 6.2.2;
- 2) pengaruh-pengaruh aksi terfaktor (R_u) sebagai akibat dari beban-beban keadaan batas harus ditentukan dengan analisis sesuai Butir 7;
- 3) kuat rencana (ϕR_n) harus ditentukan dari kuat nominal (R_n) yang ditentukan berdasarkan Butir 8 sampai dengan Butir 12, dikalikan dengan faktor reduksi (ϕ) yang tercantum pada Tabel 6.4-2;
- 4) semua komponen struktur dan sambungan harus direncanakan sedemikian rupa sehingga kuat rencana (ϕR_n) tidak kurang dari pengaruh aksi terfaktor (R_u), yaitu: $R_u \leq \phi R_n$.

6.4 Keadaan kemampuan-layan batas

6.4.1 Umum

Sistem struktur dan komponen struktur harus direncanakan untuk mempunyai kemampuan-layan batas dengan mengendalikan atau membatasi lendutan dan getaran. Kemampuan layan batas ini juga berlaku untuk setiap baut. Di samping itu untuk bangunan baja

diperlukan perlindungan terhadap korosi secukupnya. Kesemuanya itu harus sesuai dengan persyaratan yang relevan pada Butir 6.4.2 sampai dengan 6.4.6.

6.4.2 Metode

Sistem struktur dan komponen struktur harus direncanakan untuk keadaan kemampuan-layan batas sebagai berikut:

- 1) beban-beban dan aksi-aksi lainnya harus ditentukan sesuai dengan Butir 6.2.1 dan 6.2.3 dan beban-beban keadaan kemampuan-layan batas harus ditentukan berdasarkan Butir 6.2.2;
- 2) lendutan akibat beban dalam keadaan kemampuan-layan batas harus ditentukan berdasarkan metode analisis elastis pada Butir 7.4 dengan semua faktor amplifikasi diambil sama dengan satu. Lendutan harus memenuhi Butir 6.4.3;
- 3) perilaku getaran harus dikaji sesuai dengan Butir 6.4.4;
- 4) slip baut pada sambungan harus dibatasi bila diperlukan, sesuai dengan Butir 6.4.5;
- 5) perlindungan terhadap korosi harus diberikan sesuai dengan Butir 6.4.6.

6.4.3 Batas-batas lendutan

Batas-batas lendutan untuk keadaan kemampuan-layan batas harus sesuai dengan struktur, fungsi penggunaan, sifat pembebanan, serta elemen-elemen yang didukung oleh struktur tersebut. Batas lendutan maksimum diberikan dalam Tabel 6.4-1.

Tabel 6.4-1 Batas lendutan maksimum¹.

| Komponen struktur dengan beban tidak terfaktor | Beban tetap | Beban sementara |
|---|-------------|-----------------|
| Balok pemikul dinding atau finishing yang getas | $L/360$ | - |
| Balok biasa | $L/240$ | - |
| Kolom dengan analisis orde pertama saja | $h/500$ | $h/200$ |
| Kolom dengan analisis orde kedua | $h/300$ | $h/200$ |

¹ L adalah panjang bentang, h adalah tinggi tingkat, beban tetap adalah beban mati dan beban hidup, beban sementara meliputi beban gempa atau beban angin.

6.4.4 Getaran balok-balok

Balok-balok yang mendukung lantai atau mesin-mesin harus diperiksa untuk meyakinkan bahwa getaran yang diakibatkan oleh mesin-mesin atau lalu-lintas kendaraan atau pejalan kaki tidak berakibat buruk terhadap kemampuan-layan struktur. Dalam hal ada kemungkinan bahwa suatu bangunan harus menerima getaran yang diakibatkan misalnya oleh gaya-gaya angin atau mesin-mesin, harus diambil tindakan untuk mencegah ketidaknyamanan atau perasaan tidak aman, kerusakan terhadap struktur, atau gangguan terhadap fungsi asalnya.

6.4.5 Keadaan kemampuan-layan batas baut

Pada suatu sambungan yang harus menghindari terjadinya slip pada taraf beban rencana, maka alat-alat sambung harus dipilih sesuai dengan Butir 13.1.6.

6.4.6 Perlindungan terhadap korosi

Dalam hal pekerjaan baja pada suatu bangunan harus menghadapi lingkungan yang korosif, pekerjaan baja tersebut harus diberi perlindungan terhadap korosi. Tingkat perlindungan yang digunakan harus ditentukan berdasarkan pertimbangan atas fungsi bangunan, pemeliharaan, dan kondisi iklim/cuaca serta kondisi setempat lainnya.

6.5 Keadaan kekuatan dan kemampuan-layan batas dengan percobaan beban

Dengan tidak mengabaikan ketentuan-ketentuan pada Butir 3.2, 6.3, dan 6.4, suatu bangunan atau suatu komponen struktur atau sambungan dapat direncanakan untuk keadaan kekuatan batas atau kemampuan-layan batas atau kedua-duanya, dengan percobaan beban sesuai dengan Butir 20. Bila prosedur alternatif ini yang diambil, persyaratan-persyaratan yang relevan pada Butir 6.3. sampai 6.8, tetap berlaku.

6.6 Kebakaran

Bangunan, komponen-komponen struktur, dan sambungan-sambungannya harus direncanakan sesuai dengan Butir 14.

6.7 Gempa

Dalam hal gempa menjadi suatu pertimbangan perencanaan, seperti yang ditentukan pada SNI 03-1726-1989, atau penggantinya,

bangunan dan komponen-komponen strukturnya harus direncanakan sesuai dengan Butir 15.

6.8 Persyaratan perencanaan lainnya

Persyaratan-persyaratan selain yang dinyatakan pada Pasal 6.2.3, seperti perbedaan penurunan, keruntuhan bertahap, dan semua persyaratan kinerja khusus, harus dipertimbangkan bila relevan dan, bila dianggap perlu, harus diperhitungkan dalam perencanaan struktur sesuai dengan prinsip-prinsip standar ini dan prinsip-prinsip rekayasa yang baku.



Tabel 6.4-2 Faktor reduksi (ϕ) untuk keadaan kekuatan batas.

| Kuat rencana untuk | Butir | Faktor reduksi |
|--|--|--------------------------------------|
| Komponen struktur yang memikul lentur: <ul style="list-style-type: none"> • balok • balok pelat berdinding penuh • pelat badan yang memikul geser • pelat badan pada tumpuan • pengaku | 8.1, 8.2 & 8.3 8.4 8.8 & 8.9 8.10 8.11, 8.12, & 8.13 | 0,90 0,90 0,90 0,90 0,90 |
| Komponen struktur yang memikul gaya tekan aksial: <ul style="list-style-type: none"> • kuat penampang • kuat komponen struktur | 9.1 & 9.2 9.1 & 9.3 | 0,85 0,85 |
| Komponen struktur yang memikul gaya tarik aksial: <ul style="list-style-type: none"> • terhadap kuat tarik leleh • terhadap kuat tarik fraktur | 10.1 & 10.2 10.1 & 10.2 | 0,90 0,75 |
| Komponen struktur yang memikul aksi-aksi kombinasi: <ul style="list-style-type: none"> • kuat lentur atau geser • kuat tarik • kuat tekan | 11.3 & 11.4 11.3 & 11.4 11.3 & 11.4 | 0,90 0,90 0,85 |
| Komponen struktur komposit: <ul style="list-style-type: none"> • kuat tekan • kuat tumpu beton • kuat lentur dengan distribusi tegangan plastik • kuat lentur dengan distribusi tegangan elastik | 12.3 12.3.4 12.4.2.1 & 12.4.2.3 12.4.2.1 & 12.4.3 | 0,85 0,60 0,85 0,90 |
| Sambungan baut: <ul style="list-style-type: none"> • baut yang memikul geser • baut yang memikul tarik • baut yang memikul kombinasi geser dan tarik • lapis yang memikul tumpu | 13.2.2.1 13.2.2.2 13.2.2.3 13.2.2.4 | 0,75 0,75 0,75 0,75 |
| Sambungan las: <ul style="list-style-type: none"> • las tumpul penetrasi penuh • las sudut dan las tumpul penetrasi sebagian • las pengisi | 13.5.2.7 13.5.3.10 13.5.4 | 0,90 0,75 0,75 |

7. BEBERAPA METODE DALAM ANALISIS STRUKTUR

7.1 Beberapa metode dalam penentuan gaya-dalam

Untuk memenuhi syarat-syarat stabilitas, kekuatan, dan kekakuan yang ditetapkan dalam Butir 6, pengaruh-pengaruh gaya-dalam pada suatu struktur dan terhadap komponen-komponennya serta sambungannya yang diakibatkan oleh beban-beban yang bekerja harus ditentukan melalui analisis struktur dengan menggunakan anggapan-anggapan yang ditetapkan pada Butir 7.2 dan 7.3 dan dengan salah satu metode berikut ini:

- a) Analisis elastis: sesuai dengan Butir 7.4; atau
- b) Analisis plastis: sesuai dengan Butir 7.5; atau
- c) Analisis non-konvensional lainnya yang telah baku dan telah diterima secara umum.

7.1.1 Beberapa definisi

Dalam butir ini berlaku beberapa definisi berikut ini:

- a) Komponen struktur tak-bergoyang adalah komponen struktur yang perpindahan transversal antara kedua ujungnya dikekang secara efektif. Hal ini berlaku pada rangka segitiga dan rangka batang atau pada rangka dengan kekakuan bidangnya diberikan oleh bresing diagonal, atau oleh dinding geser, atau oleh pelat lantai atau pelat atap yang menyatu dengan dinding atau sistem bresing paralel terhadap bidang tekuk komponen struktur;
- b) Komponen struktur bergoyang adalah komponen struktur yang perpindahan transversal antara kedua ujungnya tidak dikekang. Komponen struktur tersebut biasa dijumpai pada struktur yang mengandalkan mekanisme lentur untuk mengendalikan goyangan.

7.2 Bentuk-bentuk struktur pada analisis struktur

Pendistribusian pengaruh gaya-dalam kepada komponen-komponen struktur dan sambungan-sambungan pada suatu struktur ditetapkan dengan menganggap salah satu atau kombinasi bentuk-bentuk struktur berikut ini:

- a) Kaku,
- b) Semi-kaku,
- c) Sederhana (bebas momen).

7.2.1 Struktur kaku

Pada struktur kaku, sambungan dianggap memiliki kekakuan yang cukup untuk mempertahankan sudut-sudut di antara komponen-komponen struktur yang disambung.

7.2.2 Struktur semi-kaku

Pada struktur semi-kaku, sambungan tidak memiliki kekakuan yang cukup untuk mempertahankan sudut-sudut di antara komponen-komponen struktur yang disambung, namun harus dianggap memiliki kapasitas yang cukup untuk memberikan kekangan yang dapat diukur terhadap perubahan sudut-sudut tersebut.

Tingkat kapasitas tersebut di atas terhadap taraf pembebanan yang bekerja ditetapkan dengan metode berdasarkan percobaan.

7.2.3 Struktur sederhana

Pada struktur sederhana, sambungan pada kedua ujung komponen struktur dianggap bebas momen.

7.2.4 Perencanaan sambungan

Perencanaan semua sambungan harus konsisten dengan bentuk-bentuk struktur, dan perilaku sambungan tidak boleh menimbulkan pengaruh buruk terhadap bagian-bagian lainnya dalam suatu struktur di luar dari yang direncanakan. Sambungan direncanakan sesuai dengan Butir 13.

7.3 Anggapan dalam analisis

Suatu struktur dianalisis sebagai suatu kesatuan kecuali untuk:

- a) Struktur-struktur beraturan dapat dianalisis sebagai rangkaian suatu rangka dua dimensi, dan analisis struktur dilakukan masing-masing untuk dua arah yang saling tegak lurus, kecuali bila terjadi redistribusi beban yang besar di antara rangka-rangkanya;
- b) Untuk beban vertikal pada suatu struktur gedung bertingkat tinggi yang dilengkapi dengan bresing atau dinding geser untuk memikul semua gaya-gaya lateral, setiap lantai bersama-sama dengan kolom-kolom tepat di atas dan di bawahnya dapat dianalisis secara terpisah; ujung-ujung jauh kolom dapat dianggap terjepit.

Bila balok-balok lantai pada suatu struktur gedung bertingkat tinggi dianalisis secara terpisah maka momen lentur pada tumpuan dapat ditetapkan dengan menganggap bahwa lantai tersebut terjepit pada suatu tumpuan di ujung jauh bentang berikutnya, asal saja lantai tersebut bersifat menerus pada tumpuan yang dianggap terjepit.

7.3.1 Panjang bentang

Panjang bentang komponen struktur lentur diambil sebagai jarak as-ke-as tumpuan.

7.3.2 Pengaturan beban hidup pada suatu gedung

Untuk struktur gedung, pengaturan beban hidup yang digunakan dalam analisis dilakukan berikut ini:

- a) Untuk pola pembebanan tetap, pengaturan sesuai dengan SNI 03-1727-1989, atau penggantinya;
- b) Bila beban hidup bervariasi dan tidak lebih besar daripada tiga per empat beban mati maka beban hidup terfaktor dikerjakan pada seluruh bentang;
- c) Bila beban hidup bervariasi dan melebihi tiga per empat beban mati, pengaturan untuk lantai tersebut terdiri dari:
 - (i) beban hidup terfaktor pada bentang-bentang yang berselang-seling;
 - (ii) beban hidup terfaktor pada dua bentang yang bersebelahan; dan
 - (iii) beban hidup terfaktor pada seluruh bentang.

7.3.3 Struktur sederhana

Komponen struktur lentur dianggap memiliki ujung-ujung yang hanya dapat memikul geser dan bebas berotasi. Pada rangka berbentuk segitiga, gaya-gaya aksial dapat ditetapkan dengan menganggap bahwa semua komponen struktur terhubung dengan sambungan pen.

Reaksi balok atau sejenisnya yang bekerja pada kolom harus diambil minimum sejarak 100 mm dari muka kolom ke arah tengah bentang atau di tengah dudukan konsol, diambil eksentrisitas yang lebih besar, kecuali untuk kepala kolom, beban harus dianggap bekerja di muka kolom ke arah tengah bentang.

Untuk kolom menerus, momen lentur terfaktor (M_u) yang disebabkan oleh eksentrisitas beban pada suatu lantai atau balok suatu rangka diambil dengan anggapan bahwa:

- a) lantai atau balok dari suatu rangka di atas dan di bawah lantai atau balok yang ditinjau tidak mampu memikul momen; dan
- b) didistribusikan kepada panjang kolom di atas dan di bawah lantai atau balok yang ditinjau proporsional terhadap nilai I/L dari kolom tersebut.

7.4 Analisis elastis

7.4.1 Anggapan

Setiap komponen struktur dianggap tetap dalam keadaan elastis pada setiap kondisi beban terfaktor. Pengaruh dari voute atau perubahan

momen inersia penampang sepanjang sumbu komponen struktur harus diperhatikan pada perhitungan dan, bila tidak dapat diabaikan, harus diperhitungkan dalam penentuan kekakuan komponen struktur tersebut.

7.4.2 Pengaruh orde kedua

Analisis struktur dilakukan dengan tetap memperhatikan titik tangkap beban-beban yang bekerja pada struktur dan komponen-komponen struktur setelah berdeformasi. Pengaruh orde kedua harus diperhatikan melalui salah satu dari dua analisis berikut ini:

- suatu analisis orde pertama dengan amplifikasi momen sesuai dengan Butir 7.4.3; atau
- analisis orde kedua menurut cara-cara yang telah baku dan telah diterima secara umum.

7.4.3 Analisis orde pertama

Pada analisis orde pertama, perubahan geometri struktur dan perubahan kekakuan komponen struktur akibat adanya gaya aksial diabaikan. Pengaruh ini terhadap momen lentur yang didapat dari analisis orde pertama perlu diperhitungkan dengan menggunakan metode amplifikasi momen sesuai dengan Butir 7.4.3.2.

7.4.3.1 Amplifikasi momen untuk komponen struktur tak-bergoyang

Untuk komponen struktur tak-bergoyang tanpa gaya aksial atau komponen struktur tak-bergoyang dengan gaya aksial tarik, momen lentur terfaktor (M_u) dihitung sebagai berikut:

$$M_u = M_{ntu} \quad (7.4-1)$$

dengan M_{ntu} adalah momen lentur terfaktor orde pertama yang diakibatkan oleh beban-beban yang tidak menimbulkan goyangan.

Untuk komponen struktur tak-bergoyang dengan gaya aksial tekan terfaktor (N_u) yang berasal dari analisis orde pertama, momen lentur terfaktor (M_u) dihitung sebagai berikut:

$$M_u = \delta_b M_{ntu} \quad (7.4-2)$$

dengan δ_b adalah faktor amplifikasi momen untuk komponen struktur tak-bergoyang dan dihitung sebagai berikut:

$$\delta_b = \frac{c_m}{1 - \left(\frac{N_u}{N_{crb}} \right)} \geq 1 \quad (7.4-3)$$

dengan N_u adalah gaya aksial tekan terfaktor dan N_{crb} adalah beban kritis elastis, ditetapkan sesuai dengan Butir 7.6.1, untuk komponen struktur tak-bergoyang.

Untuk komponen struktur tak-bergoyang tanpa beban transversal, faktor c_m dihitung berikut ini:

$$c_m = 0,6 - 0,4 \beta_m \leq 1,0 \quad (7.4-4)$$

dengan β_m adalah perbandingan momen terkecil dan terbesar yang bekerja di ujung-ujung komponen struktur, diambil positif bila komponen struktur terlentur dengan kelengkungan yang berbalik tanda dan negatif untuk kasus sebaliknya.

Untuk komponen struktur tak-bergoyang dengan beban transversal:

$$\begin{aligned} c_m &= 1 && \text{untuk komponen struktur dengan ujung-ujung sederhana,} \\ c_m &= 0,85 && \text{untuk komponen struktur dengan ujung-ujung kaku.} \end{aligned}$$

7.4.3.2 Amplifikasi momen untuk komponen struktur bergoyang

Untuk komponen struktur bergoyang, momen lentur terfaktor (M_u) dihitung menggunakan metode pada butir ini.

Dalam butir ini, momen lentur terfaktor (M_u) dihitung sebagai berikut:

$$M_u = \delta_b M_{ntu} + \delta_s M_{ltu} \quad (7.4-5)$$

dengan M_{ltu} adalah momen lentur terfaktor orde pertama yang diakibatkan oleh beban-beban yang dapat menimbulkan goyangan, dan faktor amplifikasi momen (δ_s) ditetapkan sebagai berikut:

$$\delta_s = \frac{1}{1 - \sum N_u \left(\frac{\Delta_{oh}}{HL} \right)} \quad (7.4-6a)$$

$$\text{atau } \delta_s = \frac{1}{1 - \left(\frac{\sum N_u}{\sum N_{crs}} \right)} \quad (7.4-6b)$$

Keterangan:

- ΣN_u adalah jumlah gaya aksial tekan terfaktor akibat beban gravitasi untuk seluruh kolom pada satu tingkat yang ditinjau, N
- N_{crs} adalah ditetapkan pada Butir 7.6.1 untuk kasus komponen struktur bergoyang, N
- Δ_{oh} adalah simpangan antar lantai pada tingkat yang sedang ditinjau, mm
- ΣH adalah jumlah gaya horizontal yang menghasilkan Δ_{oh} pada tingkat yang ditinjau, N
- L adalah tinggi tingkat, mm

7.4.3.3 Persamaan interaksi aksial-momen

Dalam segala hal, salah satu dari dua persamaan interaksi aksial-momen berikut ini harus dipenuhi oleh setiap komponen struktur prismatis simetris ganda dan simetris tunggal.

$$(i) \text{ Bila } \frac{N_u}{\phi N_n} \geq 0,2 \text{ maka } \frac{N_u}{\phi N_n} + \frac{8}{9} \left(\frac{M_{ux}}{\phi_b M_{nx}} + \frac{M_{uy}}{\phi_b M_{ny}} \right) \leq 1,0 \quad (7.4-7a)$$

$$(ii) \text{ Bila } \frac{N_u}{\phi N_n} < 0,2 \text{ maka } \frac{N_u}{2\phi N_n} + \left(\frac{M_{ux}}{\phi_b M_{nx}} + \frac{M_{uy}}{\phi_b M_{ny}} \right) \leq 1,0 \quad (7.4-7b)$$

Keterangan:

- N_u adalah gaya aksial terfaktor, N
- N_n adalah kuat nominal penampang komponen struktur; ditetapkan sesuai dengan Butir 7.6.2 untuk komponen struktur tekan dan Butir 10.1 untuk komponen struktur tarik, N
- ϕ adalah faktor reduksi kekuatan
 $\phi = \phi_c$ adalah untuk komponen struktur tekan = 0,85
 $\phi = \phi_t$ adalah untuk komponen struktur tarik = 0,9
- ϕ_b adalah faktor reduksi kekuatan untuk komponen struktur lentur = 0,90
- M_{nx}, M_{ny} adalah momen lentur nominal penampang komponen struktur masing-masing terhadap sumbu-x dan -y ditetapkan sesuai dengan Butir 8.2 dan 8.3, N-mm
- M_{ux}, M_{uy} adalah momen lentur terfaktor masing-masing terhadap sumbu-x dan -y, sudah termasuk pengaruh orde kedua, N-mm

7.5 Analisis plastis

7.5.1 Penerapan

Pengaruh gaya-dalam di sebagian atau seluruh struktur dapat ditetapkan menggunakan analisis plastis selama batasan pada Butir 7.5.2 dipenuhi. Distribusi gaya-gaya-dalam harus memenuhi syarat keseimbangan dan syarat batas.

7.5.2 Batasan

Bila metode plastis digunakan, semua persyaratan di bawah ini harus dipenuhi, yaitu:

- a) Tegangan leleh baja yang digunakan tidak melebihi 450 MPa;
- b) Pada daerah sendi plastis, tekuk setempat harus dapat dihindari dengan mensyaratkan bahwa perbandingan lebar terhadap tebal, b/t , lebih kecil daripada λ_p . Nilai λ_p tersebut ditetapkan sesuai dengan Tabel 7.5-1;
- c) Pada rangka dengan bresing, gaya aksial tekan terfaktor pada kolom yang diakibatkan oleh beban gravitasi terfaktor dan beban horizontal terfaktor tidak diperkenankan melampaui $0,85A_b f_y$. Pada rangka tanpa bresing, gaya aksial tekan terfaktor pada kolom yang diakibatkan oleh beban gravitasi terfaktor dan beban horizontal terfaktor tidak diperkenankan melampaui $0,75A_b f_y$;
- d) Parameter kelangsingan kolom λ_c tidak boleh melebihi 1,5 k_c . Nilai k_c ditetapkan sesuai dengan Butir 7.6.3.2 atau 7.6.3.3;
- e) Untuk komponen struktur dengan penampang kompak yang terlentur terhadap sumbu kuat penampang, panjang bagian pelat sayap tanpa pengekan lateral, L_b , yang mengalami tekan pada daerah sendi plastis yang mengalami mekanisme harus memenuhi syarat $L_b \leq L_{pd}$, yang ditetapkan berikut ini:
 - (i) Untuk profil-I simetris tunggal dan simetris ganda dengan lebar pelat sayap tekan sama dengan atau lebih besar daripada lebar pelat sayap tarik dan dibebani pada bidang pelat sayap

$$L_{pd} = \frac{\left[25.000 + 15.000 \left(\frac{M_1}{M_2} \right) \right] r_y}{f_y} \quad (7.5-1)$$

Keterangan:

| | |
|-------------|--|
| f_y | adalah tegangan leleh material, MPa |
| M_1 | adalah momen ujung yang terkecil, N-mm |
| M_2 | adalah momen ujung yang terbesar, N-mm |
| r_y | adalah jari-jari girasi terhadap sumbu lemah, mm |
| (M_1/M_2) | bertanda positif untuk kasus kelengkungan ganda dan negatif untuk kasus kelengkungan tunggal |
| L_{pd} | dinyatakan dalam mm |

- (ii) Untuk komponen struktur dengan penampang persegi pejal dan balok kotak simetris

$$L_{pd} = \frac{\left[35.000 + 21.000 \left(\frac{M_1}{M_2} \right) \right] r_y}{f_y} \geq \frac{21.000 r_y}{f_y} \quad (7.5-2)$$

Tidak ada batasan terhadap L_b untuk komponen struktur dengan penampang melintang bulat, atau bujursangkar, atau penampang yang terlentur terhadap sumbu lemah.

- f) Kekuatan komponen struktur harus direncanakan sesuai dengan Butir 7.4.3.3;
- g) Kuat lentur komponen struktur komposit harus ditentukan berdasarkan distribusi tegangan plastis.

7.5.3 Anggapan analisis

Gaya-gaya-dalam ditetapkan menggunakan analisis plastis kaku.

Dalam analisis plastis harus dapat dianggap bahwa sambungan-sambungan dapat memobilisasikan kekuatan penuhnya atau sebagian dari kekuatan penuhnya, selama kekuatan sambungan-sambungan tersebut direncanakan untuk tujuan ini, dan selama:

- a) untuk sambungan dengan kekuatan penuh, yang kapasitas momen sambungannya tidak kurang dari kapasitas momen penampang komponen-komponen struktur yang disambung, perilaku sambungan harus sedemikian rupa sehingga kapasitas rotasi sambungan pada setiap sendi plastis tidak terlampaui pada saat terjadinya mekanisme;
- b) untuk sambungan dengan sebagian dari kekuatan penuhnya, yang kapasitas momen sambungannya dapat lebih kecil daripada kapasitas momen komponen-komponen struktur yang disambung, perilaku sambungan harus sedemikian rupa sehingga memungkinkan terjadinya semua sendi plastis yang diperlukan untuk terjadinya mekanisme, sedemikian rupa sehingga kapasitas rotasi sambungan pada setiap sendi plastis tidak terlampaui.

7.6 Analisis tekuk komponen struktur

Gaya tekuk elastis komponen struktur (N_{cr}) untuk keadaan tertentu ujung-ujungnya yang diberikan oleh suatu rangka pendukung ditetapkan sesuai dengan Butir 7.6.2. Gaya tekuk komponen struktur (N_{crb}) digunakan dalam menetapkan faktor amplifikasi momen pada komponen struktur tak-bergoyang (δ_b) pada Butir 7.4.3.1, dan gaya tekuk komponen struktur (N_{crs}) digunakan pada penentuan faktor amplifikasi momen pada komponen struktur bergoyang (δ_s) pada Butir 7.4.3.2.

7.6.1 Gaya tekuk elastis

Gaya tekuk elastis komponen struktur (N_{cr}) ditetapkan sebagai berikut:

$$N_{cr} = \frac{A_b f_y}{\lambda_c^2} \quad (7.6-1)$$

dengan parameter kelangsingan kolom, λ_c , ditetapkan sebagai berikut:

$$\lambda_c = \frac{1}{\pi} \frac{L_k}{r} \sqrt{\frac{f_y}{E}} \quad (7.6-2)$$

dengan $L_k = k_c L$ dan f_y adalah tegangan leleh material. Dalam hal ini k_c adalah faktor panjang tekuk, ditetapkan sesuai dengan Butir 7.6.3 dan L adalah panjang teoritis kolom.

7.6.2 Daya dukung nominal komponen struktur tekan

Untuk penampang yang mempunyai perbandingan lebar terhadap tebalnya lebih kecil daripada nilai λ_r pada Tabel 7.5-1, daya dukung nominal komponen struktur tekan dihitung sebagai berikut:

$$N_n = A_g f_{cr} = A_g \frac{f_y}{\omega} \quad (7.6-3)$$

$$f_{cr} = \frac{f_y}{\omega} \quad (7.6-4)$$

$$\text{untuk } \lambda_c \leq 0,25 \quad \text{maka } \omega = 1 \quad (7.6-5a)$$

$$\text{untuk } 0,25 < \lambda_c < 1,2 \quad \text{maka } \omega = \frac{1,43}{1,6 - 0,67\lambda_c} \quad (7.6-5b)$$

$$\text{untuk } \lambda_c \geq 1,2 \quad \text{maka } \omega = 1,25\lambda_c^2 \quad (7.6-5c)$$

Keterangan:

A_g adalah luas penampang bruto, mm²

f_{cr} adalah tegangan kritis penampang, MPa
 f_y adalah tegangan leleh material, MPa

Untuk penampang yang mempunyai perbandingan lebar terhadap tebalnya lebih besar daripada nilai λ_r pada Tabel 7.5-1, analisis kekuatan dan kekakuannya dilakukan secara tersendiri dengan mengacu pada metode-metode analisis yang rasional.

7.6.3 Faktor panjang tekuk

Nilai faktor panjang tekuk (k_c) bergantung pada kekangan rotasi dan translasi pada ujung-ujung komponen struktur. Pada Gambar 7.6-2(a) untuk komponen struktur tak-bergoyang, kekangan translasi ujungnya dianggap tak-hingga. Pada Gambar 7.6-2(b) untuk komponen struktur bergoyang, kekangan translasi ujungnya dianggap nol.

Nilai faktor panjang tekuk (k_c) ditetapkan sesuai dengan Butir 7.6.3.1 untuk komponen struktur dengan ujung-ujung yang ideal, atau sesuai dengan Butir 7.6.3.2 untuk komponen struktur tak bergoyang pada suatu rangka, atau untuk komponen struktur bergoyang pada suatu rangka portal dengan pembebanan normal dan gaya aksial yang dapat diabaikan.

7.6.3.1 Komponen struktur dengan ujung ideal

Nilai faktor panjang tekuk (k_c) yang digunakan untuk komponen struktur dengan ujung-ujung ideal ditunjukkan pada Gambar 7.6-1.

7.6.3.2 Komponen struktur dari suatu rangka

Untuk komponen struktur tekan yang merupakan bagian dari suatu rangka bersambungan kaku, nilai faktor panjang tekuk (k_c) ditetapkan dari Gambar 7.6-2(a) untuk komponen struktur tak-bergoyang dan dari Gambar 7.6-2(b) untuk komponen struktur bergoyang. Pada gambar-gambar tersebut G_A dan G_B adalah perbandingan antara kekakuan komponen struktur dengan tekan dominan terhadap kekakuan komponen struktur relatif bebas tekan, masing-masing pada ujung A dan ujung B. Nilai G ditetapkan sesuai dengan Butir 7.6.3.3.

7.6.3.3 Perbandingan kekakuan pada rangka portal

Nilai G suatu komponen struktur pada rangka portal dapat ditentukan sebagai berikut:

$$G = \frac{\sum \left(\frac{I}{L} \right)_c}{\sum \left(\frac{I}{L} \right)_b} \quad (7.6-6)$$

kecuali bahwa:

- a) untuk komponen struktur tekan yang dasarnya tidak terhubung secara kaku pada fondasi, nilai G tidak boleh diambil kurang dari 10, kecuali bila dilakukan analisis khusus untuk menetapkan nilai G tersebut; dan
- b) untuk komponen struktur tekan yang dasarnya terhubung secara kaku pada fondasi, nilai G tidak boleh diambil kurang dari 1, kecuali bila dilakukan analisis khusus untuk menetapkan nilai G tersebut.

Besaran $\sum \left(\frac{I}{L} \right)_c$ dihitung dengan menjumlahkan kekakuan semua

komponen struktur tekan — dengan bidang lentur yang sama — yang terhubung secara kaku pada ujung komponen struktur yang sedang ditinjau, termasuk komponen struktur itu sendiri.

Besaran $\sum \left(\frac{I}{L} \right)_b$ dihitung dengan menjumlahkan kekakuan semua

komponen struktur lentur — dengan bidang lentur yang sama — yang terhubung secara kaku pada ujung komponen struktur yang sedang ditinjau.

7.6.3.4 Komponen struktur pada struktur segitiga

Panjang efektif (L_k) komponen struktur pada suatu struktur segitiga diambil tidak kurang dari panjang teoritisnya (L) dari as-ke-as sambungan dengan komponen struktur lainnya, kecuali jika dihitung dengan analisis lainnya yang lebih teliti.

7.6.4 Batas kelangsingan

Untuk batang-batang yang direncanakan terhadap tekan, angka perbandingan kelangsingan $\lambda = L_k/r$ dibatasi sebesar 200.

Untuk batang-batang yang direncanakan terhadap tarik, angka perbandingan kelangsingan L/r dibatasi sebesar 300 untuk batang sekunder dan 240 untuk batang primer. Ketentuan di atas tidak berlaku untuk batang bulat dalam tarik. Batang-batang yang ditentukan oleh gaya tarik, namun dapat berubah menjadi tekan yang tidak dominan pada kombinasi pembebanan yang lain, tidak perlu memenuhi batas kelangsingan batang tekan.

Tabel 7.5-1

Perbandingan maksimum lebar terhadap tebal untuk elemen tertekan (f_y dinyatakan dalam MPa, simbol mengacu pada Gambar 7.5-1).

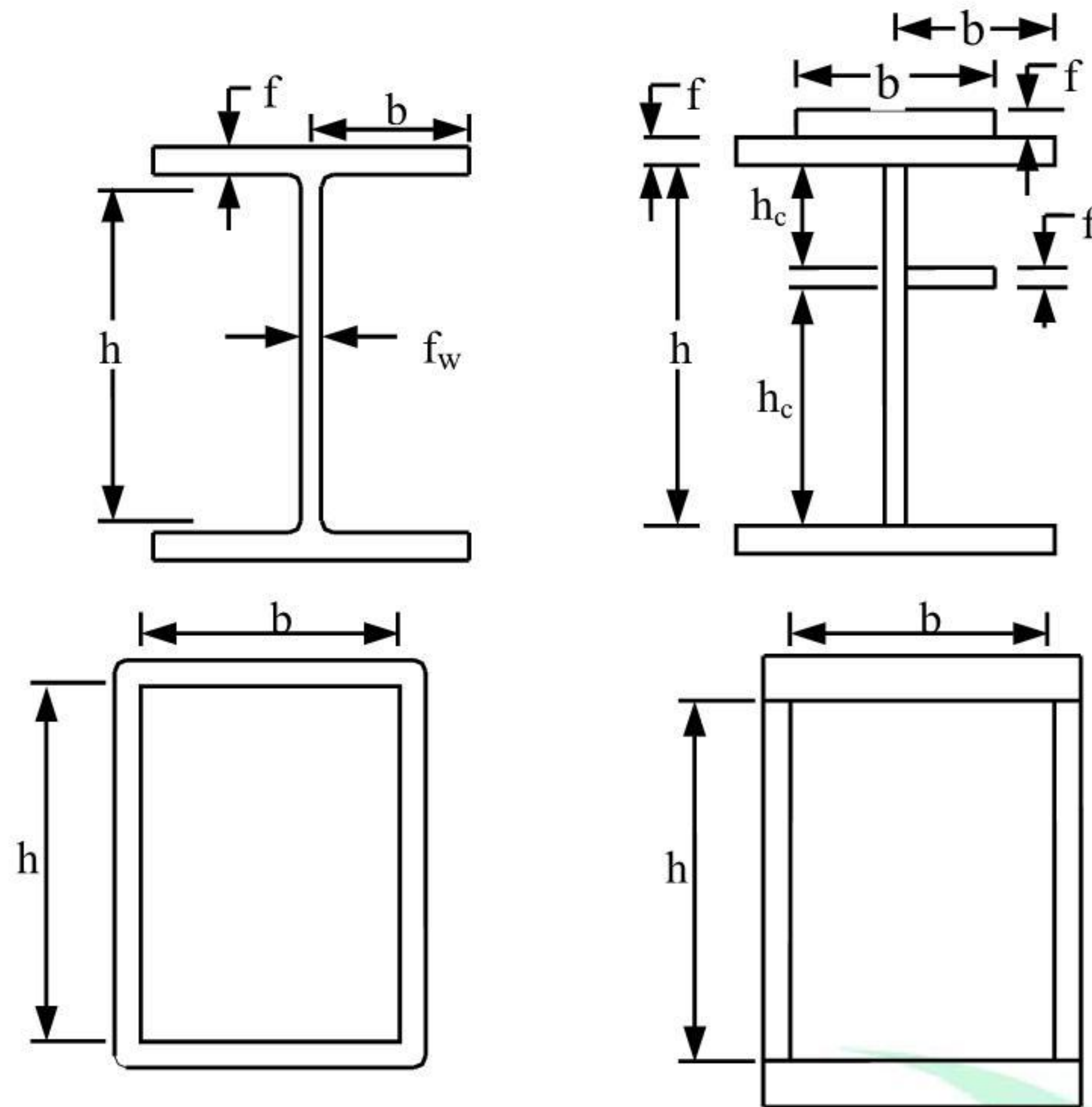
| Jenis Elemen | Perbandingan | Perbandingan maksimum lebar terhadap tebal |
|--------------|--------------|--|
|--------------|--------------|--|

| | | lebar terhadap tebal (λ) | | |
|----------------------|---|--|-------------------------|--|
| | | | λ_p (kompak) | λ_r (tak-kompak) |
| Elemen tanpa Pengaku | Pelat sayap balok-I dan kanal dalam lentur | b/t | $170 / \sqrt{f_y}$ [c] | $370 / \sqrt{f_y - f_r}$ [e] |
| | Pelat sayap balok-I hibrida atau balok tersusun yang di las dalam lentur | b/t | $170 / \sqrt{f_{yf}}$ | $\frac{420}{\sqrt{(f_{yf} - f_r) / k_e}}$ [e][f] |
| | Pelat sayap dari komponen-komponen struktur tersusun dalam tekan | b/t | - | $290 / \sqrt{f_y / k_e}$ [f] |
| | Sayap bebas dari profil siku kembar yang menyatu pada sayap lainnya, pelat sayap dari komponen struktur kanal dalam aksial tekan, profil siku dan plat yang menyatu dengan balok atau komponen struktur tekan | b/t | - | $250 / \sqrt{f_y}$ |
| | Sayap dari profil siku tunggal pada penyokong, sayap dari profil siku ganda dengan pelat kopel pada penyokong, elemen yang tidak diperkaku, yaitu, yang ditumpu pada salah satu sisinya | b/t | - | $200 / \sqrt{f_y}$ |
| | Pelat badan dari profil T | d/t | - | $335 / \sqrt{f_y}$ |

Tabel 7.5-1 (Lanjutan)

Perbandingan maksimum lebar terhadap tebal untuk elemen tertekan
(f_y dinyatakan dalam MPa, simbol mengacu pada Gambar 7.5-1).

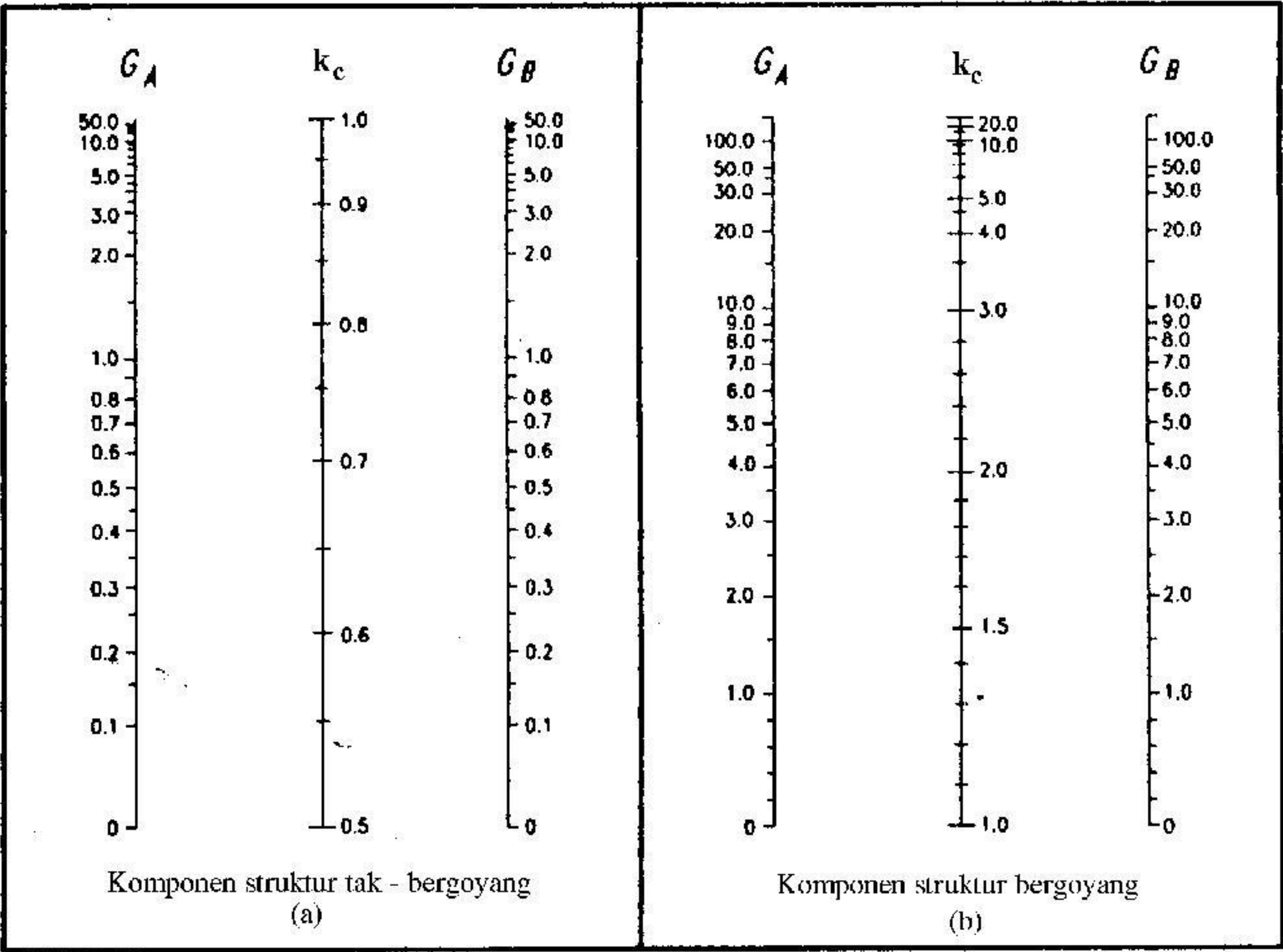
| Jenis Elemen | | Perbandingan lebar terhadap tebal (λ) | Perbandingan maksimum lebar terhadap tebal | |
|--|--|---|--|---|
| | | | λ_p (kompak) | λ_r (tak-kompak) |
| Elemen dengan Pengaku | Pelat sayap dari penampang persegi panjang dan bujursangkar berongga dengan ketebalan seragam yang dibebani lentur atau tekan; pelat penutup dari pelat sayap dan pelat diafragma yang terletak di antara baut-baut atau las | b/t | $500 / \sqrt{f_y}$ | $625 / \sqrt{f_y}$ |
| | Bagian lebar yang tak terkekang dari pelat penutup berlubang [b] | b/t | - | $830 / \sqrt{f_y}$ |
| | Bagian-bagian pelat badan dalam tekan akibat lentur [a] | h/t_w | $1.680 / \sqrt{f_y}$ [c] | $2.550 / \sqrt{f_y}$ [g] |
| | Bagian-bagian pelat badan dalam kombinasi tekan dan lentur | h/t_w | Untuk $N_u / \phi_b N_y \leq 0,125$ [c] $\frac{1.680}{\sqrt{f_y}} \left[1 - \frac{2,75 N_u}{\phi_b N_y} \right]$ | $\frac{2.550}{\sqrt{f_y}} \left[1 - \frac{0,74 N_u}{\phi_b N_y} \right]$ |
| | | | Untuk $N_u / \phi_b N_y > 0,125$ [c] $\frac{500}{\sqrt{f_y}} \left[2,33 - \frac{N_u}{\phi_b N_y} \right] \geq \frac{665}{\sqrt{f_y}}$ | |
| | Elemen-elemen lainnya yang diperkaku dalam tekan murni; yaitu dikekang sepanjang kedua sisinya | b/t h/t_w | - | $665 / \sqrt{f_y}$ |
| | Penampang bulat berongga Pada tekan aksial Pada lentur | D/t | [d] - $14.800 / f_y$ | $22.000 / f_y$ $62.000 / f_y$ |
| [a] Untuk balok hibrida, gunakan tegangan leleh pelat sayap f_{yf} sebagai ganti f_y . [b] Ambil luas neto plat pada lubang terbesar. [c] Dianggap kapasitas rotasi inelastis sebesar 3. Untuk struktur-struktur pada zona gempa tinggi diperlukan kapasitas rotasi yang lebih besar. [d] Untuk perencanaan plastis gunakan $9.000 / f_y$. | | | [e] f_r = tegangan tekan residual pada pelat sayap = 70 MPa untuk penampang dirol = 115 MPa untuk penampang dilas [f] $k_e = \frac{4}{\sqrt{h/t_w}}$ tapi, $0,35 \leq k_e \leq 0,763$ [g] f_y adalah tegangan leleh minimum. | |



Gambar 7.5-1
Simbol untuk beberapa variabel penampang.

| | (a) | (b) | (c) | (d) | (e) | (f) |
|--|------|------|-----|-----|------|-----|
| Garis terputus menunjukkan diagram kolom tertekuk | | | | | | |
| Nilai k_c teoritis | 0.5 | 0.7 | 1.0 | 1.0 | 2.0 | 2.0 |
| Nilai k_c yang dianjurkan untuk kolom yang mendekati kondisi ideal | 0.65 | 0.80 | 1.2 | 1.0 | 2.10 | 2.0 |
| Kode ujung | | | | | | |

Gambar 7.6-1
Nilai k_c untuk kolom dengan ujung-ujung yang ideal.



Gambar 7.6-2
(a) Nilai k_c untuk komponen struktur tak bergoyang, dan (b) untuk komponen struktur bergoyang.

8. KOMPONEN STRUKTUR LENTUR

8.1 Perencanaan untuk lentur

8.1.1 Lentur terhadap sumbu utama kuat

Suatu komponen struktur yang memikul lentur terhadap sumbu kuat (sumbu- x), dan dianalisis dengan metode elastis sesuai Butir 7.4, harus memenuhi,

$$M_{ux} \leq \phi M_n \quad (8.1-1)$$

Keterangan:

M_{ux} adalah momen lentur terfaktor terhadap sumbu- x yang dihitung menurut Butir 7.4, N-mm

ϕ adalah faktor reduksi = 0,9

M_n adalah kuat nominal dari momen lentur penampang
 M_n diambil nilai yang lebih kecil dari kuat nominal penampang untuk momen lentur terhadap sumbu- x yang ditentukan oleh Butir 8.2, atau kuat nominal komponen struktur untuk momen lentur terhadap sumbu- x yang ditentukan oleh Butir 8.3 pada balok biasa, atau Butir 8.4 khusus untuk balok pelat ber dinding penuh, N-mm

8.1.2 Momen lentur terhadap sumbu lemah

Suatu komponen struktur yang memikul momen lentur pada sumbu lemahnya (sumbu- y), dan dianalisis dengan metode elastis sesuai Butir 7.4 harus memenuhi,

$$M_{uy} \leq \phi M_n \quad (8.1-2)$$

Keterangan:

M_{uy} adalah momen lentur perlu terhadap sumbu- y yang dihitung menurut Butir 7.4, N-mm

M_n adalah kuat lentur nominal penampang terhadap sumbu- y yang ditentukan pada Butir 8.2, N-mm

8.1.3 Analisis plastis

Suatu komponen struktur yang dianalisis dengan metode plastis sesuai Butir 7.5 harus memenuhi syarat sebagai berikut:

- Berpenampang kompak (lihat Tabel 7.5-1);
- Memenuhi $L \leq L_p$ (lihat Tabel 8.3-2);

- c) Memenuhi Butir 8.10.6;
- d) Memenuhi persyaratan berikut ini.

$$M_u \leq \phi M_n \quad (8.1-3)$$

Keterangan:

M_u adalah momen lentur rencana yang dihitung menurut Butir 7.5, N-mm

M_n adalah kuat lentur nominal penampang yang ditentukan pada Butir 8.2.1(b), N-mm

8.1.4 Lentur terhadap sumbu sebarang (bukan sumbu utama)

- a) Suatu komponen struktur yang, karena adanya kekangan, melentur pada suatu sumbu yang bukan sumbu utamanya harus memenuhi ketentuan pada Butir 11;
- b) Suatu komponen struktur yang tanpa dikekang melentur terhadap suatu sumbu yang bukan sumbu utamanya harus memenuhi ketentuan pada Butir 11.

8.1.5 Kombinasi lentur dengan gaya geser atau aksial

- a) Suatu komponen struktur yang dibebani kombinasi lentur dan gaya geser harus memenuhi ketentuan Butir 8.1 dan 8.9;
- b) Suatu komponen struktur yang dibebani kombinasi lentur dan gaya tekan atau tarik aksial harus memenuhi ketentuan pada Butir 11.

8.2 Kuat nominal lentur penampang dengan pengaruh tekuk lokal

8.2.1 Batasan momen

- a) Momen leleh M_y adalah momen lentur yang menyebabkan penampang mulai mengalami tegangan leleh yaitu diambil sama dengan $f_y S$ dan S adalah modulus penampang elastis yang ditentukan menurut Butir 8.2.1(d);
- b) Kuat lentur plastis M_p momen lentur yang menyebabkan seluruh penampang mengalami tegangan leleh harus diambil yang lebih kecil dari $f_y Z$ atau $1,5 M_y$, dan Z adalah modulus penampang plastis yang ditentukan dalam Butir 8.2.1(d);

- c) Momen batas tekuk M_r diambil sama dengan $S(f_y - f_r)$ dan f_r adalah tegangan sisa;
- d) Perhitungan modulus penampang elastis dan plastis harus dilakukan secermat mungkin dengan memperhitungkan adanya lubang-lubang, perbedaan tegangan leleh pada penampang hibrida, letak pelat tarik dan tekan, dan arah/sumbu lentur yang ditinjau sedemikian sehingga kuat momen yang dihasilkan berada dalam batas-batas ketelitian yang dapat diterima.

8.2.2 Kelangsingan penampang

Pengertian penampang kompak, tak-kompak, dan langsing suatu komponen struktur yang memikul lentur, ditentukan oleh kelangsingan elemen-elemen tekannya yang ditentukan pada Tabel 7.5-1.

8.2.3 Penampang kompak

Untuk penampang-penampang yang memenuhi $\lambda \leq \lambda_p$, kuat lentur nominal penampang adalah,

$$M_n = M_p \quad (8.2-1.a)$$

8.2.4 Penampang tak-kompak

Untuk penampang yang memenuhi $\lambda_p < \lambda \leq \lambda_r$, kuat lentur nominal penampang ditentukan sebagai berikut:

$$M_n = M_p - (M_p - M_r) \frac{\lambda - \lambda_p}{\lambda_r - \lambda_p} \quad (8.2-1.b)$$

8.2.5 Penampang langsing

Untuk pelat sayap yang memenuhi $\lambda_r \leq \lambda$, kuat lentur nominal penampang adalah,

$$M_n = M_r (\lambda_r / \lambda)^2 \quad (8.2-1.c)$$

Untuk pelat badan yang memenuhi $\lambda_r \leq \lambda$, kuat lentur nominal penampang ditentukan pada Butir 8.4.

8.3 Kuat lentur nominal penampang dengan pengaruh tekuk lateral

8.3.1 Batasan momen

- Untuk pelat badan yang memenuhi $\lambda_r \leq \lambda$, kuat lentur nominal penampang ditentukan pada Butir 8.4;
- Batasan M_y , M_p , dan M_r dianut sesuai dengan Butir 8.2.1;
- Momen kritis M_{cr} ditentukan dalam Tabel 8.3-1;
- Faktor pengali momen C_b ditentukan oleh persamaan (8.3-1);

$$C_b = \frac{12,5M_{max}}{2,5M_{max} + 3M_A + 4M_B + 3M_C} \leq 2,3 \quad (8.3-1)$$

dengan M_{max} adalah momen maksimum pada bentang yang ditinjau serta M_A , M_B , dan M_C adalah masing-masing momen pada 1/4 bentang, tengah bentang, dan 3/4 bentang komponen struktur yang ditinjau.

Tabel 8.3-1 Momen kritis untuk tekuk lateral

| Profil | M_{cr} |
|----------------------------------|---|
| Profil-I dan kanal ganda | $C_b \frac{\pi}{L} \sqrt{EI_y GJ + \left(\frac{\pi E}{L}\right)^2 I_y I_w}$ |
| Profil kotak pejal atau berongga | $2C_b E \frac{\sqrt{JA}}{L/r_y}$ |

8.3.2 Pengekang lateral

Kuat komponen struktur dalam memikul momen lentur tergantung dari panjang bentang antara dua pengekang lateral yang berdekatan, L . Batas-batas bentang pengekang lateral ditentukan dalam Tabel 8.3-2.

8.3.3 Bentang pendek

Untuk komponen struktur yang memenuhi $L \leq L_p$ kuat nominal komponen struktur terhadap momen lentur adalah

$$M_n = M_p \quad (8.3-2.a)$$

Tabel 8.3-2 Bentang untuk pengekanan lateral

| Profil | L_p | L_r |
|----------------------------------|--|---|
| Profil-I dan kanal ganda | $1,76r_y \sqrt{\frac{E}{f_y}}$ dengan $r_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}}$ adalah jari-jari girasi terhadap sumbu lemah | $r_y \left[\frac{X_1}{f_L} \right] \sqrt{1 + \sqrt{1 + X_2 f_L^2}}$ dengan $f_L = f_y - f_r$ $X_1 = \frac{\pi}{S} \sqrt{\frac{EGJA}{2}}$ $X_2 = 4 \left(\frac{S}{GJ} \right)^2 \frac{I_w}{I_y}$ I_w adalah konstanta puntir lengkung J adalah konstanta puntir torsi |
| Profil kotak pejal atau berongga | $0,13Er_y \frac{\sqrt{JA}}{M_p}$ | $2Er_y \frac{\sqrt{JA}}{M_r}$ |

8.3.4 Bentang menengah

Untuk komponen struktur yang memenuhi $L_p \leq L \leq L_r$, kuat nominal komponen struktur terhadap momen lentur adalah

$$M_n = C_b \left[M_r + (M_p - M_r) \frac{(L_r - L)}{(L_r - L_p)} \right] \leq M_p \quad (8.3-2.b)$$

8.3.5 Bentang panjang

Untuk komponen struktur yang memenuhi $L_r \leq L$, kuat nominal komponen struktur terhadap lentur adalah

$$M_n = M_{cr} \leq M_p \quad (8.3-2.c)$$

8.4 Kuat lentur nominal balok pelat berdinding penuh**8.4.1 Batasan momen**

- a) Balok pelat berdinding penuh dalam hal ini adalah balok yang mempunyai ukuran $h/t_w > \lambda_r$. Kuat lentur nominal komponen struktur dinyatakan dengan

$$M_n = K_g S f_{cr} \quad (8.4-1)$$

Keterangan:

f_{cr} adalah tegangan kritis yang ditentukan oleh Butir 8.4.3, 8.4.4 atau 8.4.5, MPa

S adalah modulus penampang yang ditentukan sesuai Butir 8.2.1, mm³

K_g adalah koefisien balok pelat berdinding penuh

Koefisien balok pelat berdinding penuh, K_g ditentukan sebagai berikut:

$$K_g = 1 - \left[\frac{a_r}{1.200 + 300a_r} \right] \left[\frac{h}{t_w} - \frac{2.550}{\sqrt{f_{cr}}} \right] \quad (8.4-2)$$

Keterangan:

a_r adalah perbandingan luas pelat badan terhadap pelat sayap tekan

h adalah tinggi bersih balok pelat berdinding penuh (dua kali jarak dari garis netral ke tempat mulai adanya alat penyambung di sisi tekan), mm

b) Faktor pengali momen C_b ditentukan oleh persamaan (8.3-1).

8.4.2 Kuat lentur berdasarkan faktor kelangsingan

Untuk kuat lentur balok pelat berdinding penuh diambil nilai terkecil dari keruntuhan akibat tekuk torsi lateral yang tergantung panjang bentang dan akibat tekuk lokal yang ditentukan oleh tebal pelat sayap.

8.4.2.1 Faktor kelangsingan berdasarkan panjang bentang

Faktor kelangsingan berdasarkan panjang bentang dinyatakan dengan persamaan,

$$\lambda_G = L / r_t \quad (8.4-3.a)$$

Keterangan:

L adalah jarak antara pengekan lateral, mm

r_t adalah jari-jari girasi daerah pelat sayap ditambah sepertiga bagian pelat badan yang mengalami tekan, mm

Batas-batas kelangsingannya adalah

$$\lambda_p = 1,76 \sqrt{\frac{E}{f_y}} \quad (8.4-4.a)$$

$$\lambda_r = 4,40 \sqrt{\frac{E}{f_y}} \quad (8.4-4.b)$$

8.4.2.2 Faktor kelangsingan berdasarkan tebal pelat sayap

Faktor kelangsingan berdasarkan tebal pelat sayap dinyatakan dengan persamaan,

$$\lambda_G = \frac{b_f}{2t_f} \quad (8.4-3.b)$$

Batas-batas kelangsingannya adalah

$$\lambda_p = 0,38 \sqrt{\frac{E}{f_y}} \quad (8.4-4.c)$$

$$\lambda_r = 1,35 \sqrt{\frac{k_e E}{f_y}} \quad (8.4-4.d)$$

dengan $k_e = \frac{4}{\sqrt{\frac{h}{t_w}}}$ dengan $0,35 \leq k_e \leq 0,763$.

8.4.3 Kasus $\lambda_G \leq \lambda_p$

Komponen struktur yang memenuhi $\lambda_G \leq \lambda_p$ maka

$$f_{cr} = f_y \quad (8.4-5.a)$$

8.4.4 Kasus $\lambda_p \leq \lambda_G \leq \lambda_r$

Komponen struktur yang memenuhi $\lambda_p \leq \lambda_G \leq \lambda_r$, maka

$$f_{cr} = C_b f_y \left(1 - \frac{(\lambda_G - \lambda_p)}{2(\lambda_r - \lambda_p)} \right) \leq f_y \quad (8.4-5.b)$$

8.4.5 Kasus $\lambda_r \leq \lambda_G$

Komponen struktur yang memenuhi $\lambda_r \leq \lambda_G$, maka

$$f_{cr} = f_c \left(\frac{\lambda_r}{\lambda_g} \right)^2 \quad (8.4-5.c)$$

dengan,

$$f_c = \frac{C_b f_y}{2} \leq f_y \quad (8.4-6.a)$$

jika ditentukan oleh tekuk torsi lateral (Butir 8.4.2.1); atau

$$f_c = \frac{f_y}{2} \quad (8.4-6.b)$$

jika ditentukan oleh tekuk lokal (Butir 8.4.2.2).

8.5 Kasus-kasus lain

8.5.1 Batasan perhitungan

Perhitungan-perhitungan yang ditentukan dalam Butir 8.2, 8.3, dan 8.4 berlaku bagi kasus-kasus umum, penampang simetris, prismatis, serta kondisi-kondisi pembebanan, perletakan, dan pengekangan yang ideal dengan menggunakan penyederhanaan-penyederhanaan lainnya.

8.5.2 Cara perhitungan

Jika diperlukan ketelitian yang lebih tinggi ataupun bagi kasus yang tidak tercakup dalam Butir 8.5.1, maka cara perhitungan untuk menentukan kuat lentur nominal dapat dilakukan dengan menggunakan analisis yang baku atau rujukan lain yang dapat diterima dan tidak bertentangan dengan ketentuan-ketentuan dalam standar ini.

8.6 Pelat badan

8.6.1 Persyaratan

- a) Ukuran dan susunan pelat badan balok pelat berdinding penuh, termasuk pengaku melintang dan memanjang, harus memenuhi Butir 8.7;
- b) Pelat badan yang mengalami gaya geser harus memenuhi Butir 8.8;

- c) Pelat badan yang mengalami gaya geser dan momen lentur harus memenuhi Butir 8.9;
- d) Pelat badan yang mengalami gaya tumpu harus memenuhi Butir 8.10;
- e) Pengaku gaya tumpu dan tiang ujung harus memenuhi Butir 8.11;
- f) Pengaku melintang di tengah harus memenuhi Butir 8.12;
- g) Pengaku memanjang harus memenuhi Butir 8.13;
- h) Untuk kasus yang tidak tercakup dalam butir-butir tersebut di atas, dapat dilakukan analisis yang rasional lainnya.

8.6.2 Definisi panel pelat badan

Panel pelat badan dengan tebal (t_w) harus dianggap mencakup luas pelat yang tidak diperkaku dengan ukuran dalam arah memanjang, a , dan ukuran dalam arah tinggi balok, h . Batas-batas pelat badan adalah pelat sayap, pengaku memanjang, pengaku vertikal, atau tepi bebas.

8.6.3 Tebal minimum panel pelat badan

Kecuali dianalisis secara cermat untuk menghasilkan ukuran yang lebih kecil, tebal panel pelat badan harus memenuhi Butir 8.7.1, 8.7.4, 8.7.5, dan 8.7.6.

8.7 Perencanaan pelat badan

8.7.1 Pelat badan yang tidak diperkaku

Ketebalan pelat badan yang tidak diperkaku dan dibatasi di kedua sisi memanjangnya oleh pelat sayap harus memenuhi

$$(h/t_w) \leq 6,36 \sqrt{\frac{E}{f_y}} \quad (8.7-1.a)$$

dengan h adalah tinggi bersih pelat badan di antara kedua pelat sayap; sedangkan jika pada salah satu sisi memanjang dibatasi oleh tepi bebas maka harus memenuhi

$$(h/t_w) \leq 3,18 \sqrt{\frac{E}{f_y}} \quad (8.7-1.b)$$

8.7.2 Pengaku pemikul beban

Pengaku pemikul beban harus diberikan berpasangan di tempat pembebanan jika gaya tumpu tekan yang disalurkan melalui pelat sayap melebihi kuat tumpu rencana (ϕR_b) pelat badan yang ditentukan dalam Butir 8.10.3, 8.10.4, 8.10.5 atau 8.10.6.

8.7.3 Pelat penguat samping

Pelat penguat samping tambahan dapat diberikan untuk menambah kekuatan pelat badan. Jika menjadi tidak simetris, maka pengaruhnya harus dipertimbangkan. Perhitungan gaya geser yang diterima dengan adanya pelat ini sedemikian rupa sehingga tidak melebihi jumlah gaya horisontal yang dapat disalurkan oleh alat sambung ke pelat badan dan pelat sayap.

8.7.4 Pelat badan dengan pengaku vertikal

Ketebalan pelat badan dengan pengaku vertikal tetapi tanpa pengaku memanjang harus memenuhi

$$(h/t_w) \leq 7,07 \sqrt{\frac{E}{f_y}} \quad \text{jika } 1,0 \leq a/h \leq 3,0 \quad (8.7-2.a)$$

$$(a/t_w) \leq 7,07 \sqrt{\frac{E}{f_y}} \quad \text{jika } 0,74 \leq a/h \leq 1,0 \quad (8.7-2.b)$$

$$(h/t_w) \leq 9,55 \sqrt{\frac{E}{f_y}} \quad \text{jika } a/h \leq 0,74 \quad (8.7-2.c)$$

Semua pelat badan yang mempunyai $a/h > 3,0$ harus dianggap tidak diperkaku, dengan h adalah tinggi panel yang terbesar di bentang tersebut.

8.7.5 Pelat badan dengan pengaku memanjang dan vertikal

Ketebalan pelat badan yang diberi pengaku-pengaku memanjang yang ditempatkan di salah satu sisi atau di kedua sisi pada jarak $0,2h$ dari pelat sayap tekan harus memenuhi:

$$(h/t_w) \leq 8,83 \sqrt{\frac{E}{f_y}} \quad \text{jika } 1,0 \leq a/h \leq 3,0 \quad (8.7-3.a)$$

$$(a/t_w) \leq 8,83 \sqrt{\frac{E}{f_y}} \quad \text{jika } 0,74 \leq a/h \leq 1,0 \quad (8.7-3.b)$$

$$(h/t_w) \leq 12,02 \sqrt{\frac{E}{f_y}} \quad \text{jika } a/h \leq 0,74 \quad (8.7-3.c)$$

Ketebalan pelat badan dengan pengaku-pengaku memanjang tambahan yang ditempatkan pada salah satu sisi atau di kedua sisi pelat badan pada sumbu netral harus memenuhi

$$(h/t_w) \leq 14,14 \sqrt{\frac{E}{f_y}} \quad \text{jika } a/h \leq 1,5 \quad (8.7-3.d)$$

8.7.6 Ketebalan pelat untuk komponen struktur yang dianalisis secara plastis

Tebal pelat badan yang mempunyai sendi plastis harus memenuhi

$$(h/t_w) \leq 2,90 \sqrt{\frac{E}{f_y}} \quad (8.7-4)$$

Pengaku penumpu beban harus dipasang jika ada gaya tumpu atau gaya geser yang bekerja dalam jarak $h/2$ dari lokasi sendi plastis dan beban tumpu perlu atau gaya geser perlu melewati 0,1 kali kuat geser rencana (ϕV_f) suatu komponen yang ditentukan dengan Butir 8.8.3.

Pengaku-pengaku ini harus ditempatkan dalam jarak $h/2$ dari lokasi sendi plastis di kedua sisi sendi plastis tersebut dan harus direncanakan sesuai dengan Butir 8.11 untuk memikul gaya yang lebih besar di antara gaya tumpu atau gaya geser.

Jika pengaku terbuat dari pelat lurus, kekakuannya (λ) seperti didefinisikan dalam Butir 8.2.2, dengan menggunakan tegangan leleh pengaku, harus lebih kecil dari batas plastisitas (λ_p) yang ditentukan dalam Butir 8.2.2.

Untuk penampang pipa, maka ketebalannya harus memenuhi

$$(D/t) \leq 0,045 \sqrt{\frac{E}{f_y}} \quad (8.7-5)$$

dengan D adalah diameter pipa.

8.7.7 Lubang di pelat badan

Kecuali untuk balok dengan kastelasi, lubang pada pelat badan boleh saja tidak diperkaku selama ukuran lubang bagian dalam yang terbesar (L_w) memenuhi salah satu syarat berikut:

$$L_w/d \leq 0,10 \quad (\text{untuk pelat badan tanpa pengaku memanjang}), \text{ atau } (8.7-6.a)$$

$$L_w/d \leq 0,33 \quad (\text{untuk pelat badan dengan pengaku memanjang}) \quad (8.7-6.b)$$

Jarak memanjang antara batas lubang yang berdekatan paling tidak tiga kali lebih besar daripada ukuran lubang bagian dalam yang terbesar. Di samping itu hanya satu bagian berlubang yang boleh tanpa pengaku, kecuali jika hasil analisis menunjukkan bahwa pengaku tidak dibutuhkan.

Perencanaan balok dengan kastelasi atau balok dengan lubang diperkaku harus berdasarkan analisis yang rasional.

8.8 Kuat geser pelat badan

8.8.1 Kuat geser

Pelat badan yang memikul gaya geser perlu (V_u) harus memenuhi

$$V_u \leq \phi V_n \quad (8.8-1)$$

Keterangan:

ϕ adalah faktor reduksi sesuai Tabel 6.4-2

V_n adalah kuat geser nominal pelat badan berdasarkan Butir 8.8.2, N

8.8.2 Kuat geser nominal

Kuat geser nominal (V_n) pelat badan harus diambil seperti yang ditentukan di bawah ini:

- a) Jika perbandingan maksimum tinggi terhadap tebal panel h/t_w memenuhi;

$$(h/t_w) \leq 1,10 \sqrt{\frac{k_n E}{f_y}} \quad (8.8-2.a)$$

dengan,

$$k_n = 5 + \frac{5}{\left(a/h\right)^2}$$

Kuat geser nominal pelat badan harus diambil seperti ditentukan dalam Butir 8.8.3.

- b) Jika perbandingan maksimum tinggi terhadap tebal panel h/t_w memenuhi;

$$1,10 \sqrt{\frac{k_n E}{f_y}} \leq (h/t_w) \leq 1,37 \sqrt{\frac{k_n E}{f_y}} \quad (8.8-2.b)$$

Kuat geser nominal pelat badan ditentukan dalam Butir 8.8.4.

- c) Jika perbandingan maksimum tinggi terhadap tebal panel h/t_w memenuhi;

$$1,37 \sqrt{\frac{k_n E}{f_y}} \leq (h/t_w) \quad (8.8-2.c)$$

Kuat geser nominal pelat badan ditentukan dalam Butir 8.8.5.

8.8.3 Kuat geser

Kuat geser nominal pelat badan harus dihitung sebagai berikut:

$$V_n = 0,6 f_y A_w \quad (8.8-3.a)$$

dengan A_w adalah luas kotor pelat badan.

Kuat geser nominal (V_n) penampang pipa harus dihitung sebagai berikut:

$$V_n = 0,36 f_y A_e \quad (8.8-3.b)$$

dengan luas efektif penampang (A_e) harus diambil sebagai luas kotor penampang bulat berongga jika tidak ada lubang yang besarnya lebih dari yang dibutuhkan untuk alat sambung atau luas bersih lebih besar dari 0,9 luas kotor. Jika tidak, luas efektif diambil sama dengan luas bersih.

8.8.4 Kuat tekuk geser elasto-plastis

Kuat tekuk geser elasto-plastis pelat badan adalah sebagai berikut:

$$V_n = 0,6 f_y A_w \left[1,10 \sqrt{\frac{k_n E}{f_y}} \right] \frac{1}{(h/t_w)} \quad (8.8-4.a)$$

atau

$$V_n = 0,6 f_y A_w \left[C_v + \frac{(1 - C_v)}{1,15 \sqrt{1 + (a/h)^2}} \right] \quad (8.8-4.b)$$

dengan

$$C_v = 1,10 \frac{\sqrt{k_n E / f_y}}{(h/t_w)}$$

8.8.5 Kuat tekuk geser elastis

Kuat tekuk geser elastis adalah sebagai berikut:

$$V_n = \frac{0,9 A_w k_n E}{(h/t_w)^2} \quad (8.8-5.a)$$

atau

$$V_n = 0,6 f_y A_w \left[C_v + \frac{(1 - C_v)}{1,15 \sqrt{1 + (a/h)^2}} \right] \quad (8.8-5.b)$$

dengan

$$C_v = 1,5 \frac{k_n E}{f_y} \frac{1}{(h/t_w)^2}$$

8.9 Interaksi geser dan lentur

8.9.1 Kuat geser pelat badan dengan adanya momen lentur

Kuat geser nominal pelat badan dengan adanya momen lentur harus dihitung menggunakan ketentuan Butir 8.9.2 atau 8.9.3

8.9.2 Metode distribusi

Jika momen lentur dianggap dipikul hanya oleh pelat sayap dan momen lentur perlu (M_u) memenuhi

$$M_u \leq \phi M_f \quad (8.9-1.a)$$

dengan M_f adalah kuat lentur nominal dihitung hanya dengan pelat sayap saja dan ditentukan sebagai berikut:

$$M_f = A_f d_f f_y \quad (8.9-1.b)$$

Keterangan:

A_f adalah luas efektif pelat sayap, mm²

A_f adalah jarak antara titik berat pelat-pelat sayap, mm

Balok harus memenuhi

$$V_u \leq \phi V_n \quad (8.9-1.c)$$

dengan V_n adalah kuat geser nominal pelat badan yang ditentukan pada Butir 8.8.2.

8.9.3 Metode interaksi geser dan lentur

Jika momen lentur dianggap dipikul oleh seluruh penampang, maka selain memenuhi Butir 8.1.1 dan 8.8.1, balok harus direncanakan untuk memikul kombinasi lentur dan geser yaitu:

$$\frac{M_u}{\phi M_n} + 0,625 \frac{V_u}{\phi V_n} \leq 1,375 \quad (8.9-2)$$

Keterangan:

V_n adalah kuat geser nominal pelat badan akibat geser saja (lihat Butir 8.8.2), N

M_n adalah kuat lentur nominal balok (lihat Butir 8.2, 8.3, atau 8.4), N-mm

8.10 Gaya tekan tumpu

8.10.1 Kuat tumpu

Gaya tumpu perlu (R_u) pada pelat badan harus memenuhi

$$R_u \leq \phi R_b \quad (8.10-1)$$

Keterangan:

ϕ adalah faktor reduksi sesuai Tabel 6.4-2

R_b adalah kuat tumpu nominal pelat badan akibat beban terpusat atau setempat, yang harus diambil nilai yang terkecil dari kuat tumpu yang ditentukan oleh Butir 8.10.3, 8.10.4, 8.10.5, 8.10.6, atau 8.10.7, N

8.10.2 Lentur pelat sayap

Kuat tumpu terhadap lentur pelat sayap adalah

$$R_b = 6,25 t_f^2 f_y \quad (8.10-2)$$

dengan t_f adalah tebal pelat sayap yang dibebani gaya tekan tumpu.

8.10.3 Kuat leleh pelat badan

Kuat tumpu terhadap leleh suatu pelat badan adalah:

- a) bila jarak beban terpusat terhadap ujung balok lebih besar dari tinggi balok;

$$R_b = (5k + N) f_y t_w \quad (8.10-3.a)$$

- b) bila jarak beban terpusat terhadap ujung balok lebih kecil atau sama dengan tinggi balok;

$$R_b = (2,5k + N) f_y t_w \quad (8.10-3.b)$$

Keterangan:

k adalah tebal pelat sayap ditambah jari-jari peralihan, mm

N adalah dimensi longitudinal pelat perletakan atau tumpuan, minimal sebesar k , mm

8.10.4 Kuat tekuk dukung pelat badan

Kuat pelat badan terhadap tekuk di sekitar pelat sayap yang dibebani adalah:

- a) bila beban terpusat dikenakan pada jarak lebih dari $d/2$ dari ujung balok;

$$R_b = 0,79 t_w^2 \left[1 + 3 \left(\frac{N}{d} \right) \left(\frac{t_w}{t_f} \right)^{1,5} \right] \sqrt{\frac{E f_y t_f}{t_w}} \quad (8.10-4.a)$$

- b) bila beban terpusat dikenakan pada jarak kurang dari $d/2$ dari ujung balok dan untuk $N/d \leq 0,2$:

$$R_b = 0,39 t_w^2 \left[1 + 3 \left(\frac{N}{d} \right) \left(\frac{t_w}{t_f} \right)^{1,5} \right] \sqrt{\frac{E f_y t_f}{t_w}} \quad (8.10-4.b)$$

atau, untuk $N/d > 0,2$:

$$R_b = 0,39t_w^2 \left[1 + \left\{ 4 \left(\frac{N}{d} \right) - 0,2 \right\} \left(\frac{t_w}{t_f} \right)^{1,5} \right] \sqrt{\frac{Ef_y t_f}{t_w}} \quad (8.10-4.c)$$

8.10.5 Kuat tekuk lateral pelat badan

Kuat pelat badan terhadap tekuk lateral adalah

- a) untuk pelat sayap yang dikekang terhadap rotasi dan dihitung bila $(h/t_w)/(L/b_f) \leq 2,3$;

$$R_b = \frac{C_r Et_w^3 t_f}{h^2} \left[1 + 0,4 \frac{(h/t_w)^3}{(L/b_f)^3} \right] \quad (8.10-5.a)$$

- b) untuk pelat sayap yang tidak dikekang terhadap rotasi dan dihitung jika $(h/t_w)/(L/b_f) \leq 1,7$;

$$R_b = \frac{C_r Et_w^3 t_f}{h^2} \left[0,4 \frac{(h/t_w)^3}{(L/b_f)^3} \right] \quad (8.10-5.b)$$

dengan,

$$C_r = \begin{cases} 3,25 & \text{untuk } M \leq M_y \\ 1,62 & \text{untuk } M > M_y \end{cases}$$

8.10.6 Kuat tekuk lentur pelat badan

Kuat pelat badan terhadap tekuk lentur akibat gaya tekan adalah

$$R_b = \frac{24,08t_w^3}{h} \sqrt{Ef_y} \quad (8.10-6)$$

8.10.7 Kuat geser daerah panel

Daerah panel adalah pelat badan yang keempat sisinya dibatasi oleh pelat-pelat sayap balok dan kolom pada sambungan balok-kolom. Kuat geser daerah panel ditentukan sesuai Butir 8.14.

8.11 Perencanaan pengaku penumpu beban

8.11.1 Ukuran pengaku

Jika kekuatan pelat badan R_b yang dihitung dalam Butir 8.10.3, 8.10.4, 8.10.5, dan 8.10.6 tidak memenuhi syarat, maka harus dipasang pengaku sedemikian sehingga

$$R_u - \phi R_b \leq A_s f_y \quad (8.11-1)$$

dengan A_s adalah luas pengaku.

8.11.2 Lebar pengaku

Lebar pengaku pada setiap sisi pelat badan harus lebih besar dari sepertiga lebar pelat sayap dikurangi setengah tebal pelat badan.

8.11.3 Tebal pengaku

Tebal pengaku harus lebih tebal dari setengah tebal pelat sayap dan memenuhi

$$\frac{b_s}{t_s} \leq 0,56 \sqrt{\frac{E}{f_y}} \quad (8.11-2)$$

Keterangan:

t_s adalah ketebalan pengaku, mm

b_s adalah lebar pengaku, mm

8.12 Perencanaan pengaku vertikal

8.12.1 Pemasangan pengaku

Bila kuat geser pelat badan pada Butir 8.8.4 dan 8.8.5 tidak memenuhi syarat maka pengaku vertikal dipasang untuk mengubah ukuran panel pelat badan. Pengaku vertikal pada pelat badan harus berada di antara kedua pelat sayap dan jarak ujungnya dari pelat sayap tidak boleh lebih dari empat kali tebal pelat badan. Pengaku vertikal dipasang di salah satu sisi atau di kedua sisi pelat badan.

8.12.2 Luas minimum

Pengaku vertikal yang tidak menerima beban luar secara langsung atau momen harus mempunyai luas A_s yang memenuhi

$$A_s \geq 0,5 A_w (1 - C_v) \left\{ (a/h) - \frac{(a/h)^2}{\sqrt{1 + (a/h)^2}} \right\} \quad (8.12-1)$$

Keterangan:

C_v adalah perbandingan antara kuat geser yang ditentukan pada Butir 8.8.4 atau 8.8.5 terhadap kuat geser yang ditentukan oleh Butir 8.8.3

A_w adalah luas pelat badan, mm^2

$D = 1,0$ untuk sepasang pengaku

$= 1,8$ untuk pengaku siku tunggal

$= 2,4$ untuk pengaku pelat tunggal

8.12.3 Kekakuan minimum

Pengaku vertikal pada pelat badan yang tidak menerima beban luar secara langsung atau momen harus mempunyai momen inersia (I_s) terhadap garis tengah bidang pelat badan

$$I_s \geq 0,75 h t_w^3 \quad \text{untuk } (a/h) \leq \sqrt{2} \quad (8.12-2.a)$$

$$I_s \geq \frac{1,5 h^3 t_w^3}{a^2} \quad \text{untuk } (a/h) > \sqrt{2} \quad (8.12-2.b)$$

8.13 Perencanaan pengaku memanjang

8.13.1 Pemasangan

Pengaku memanjang dipasang jika pelat badan tidak memenuhi syarat yang ditetapkan pada Butir 8.7.5. Pengaku memanjang pada pelat badan harus menerus dan harus mencapai pengaku melintang pada pelat badan.

8.13.2 Kekakuan minimum

Jika pengaku memanjang diperlukan pada jarak $0,2 h$ dari pelat sayap tekan, pengaku tersebut harus mempunyai momen inersia (I_s) terhadap muka pelat badan sedemikian sehingga

$$I_s \geq 4ht_w^3 \left[1 + \frac{4A_s}{A_w} \left(1 + \frac{A_s}{A_w} \right) \right] \quad (8.13-1)$$

dengan A_s adalah luas pengaku memanjang.

Jika pada garis netral penampang dibutuhkan pengaku memanjang yang kedua, pengaku tersebut harus mempunyai momen inersia (I_s) terhadap muka pelat badan

$$I_s \geq ht_w^3 \quad (8.13-2)$$

8.14 Daerah panel

Daerah panel adalah pelat badan yang keempat sisinya dibatasi oleh pelat-pelat sayap balok dan kolom pada sambungan balok-kolom.

8.14.1 Kuat geser daerah panel

Jika gaya geser terfaktor yang terjadi pada daerah panel tersebut melebihi ϕR_v maka harus dipasang pelat pengganda atau pengaku diagonal.

8.14.2 Perhitungan R_v

- a) Jika dalam analisis rangka stabilitas daerah panel tidak diperhitungkan, maka,

untuk $N_u \leq 0,4 N_y$

$$R_v = 0,6 f_y d_c t_w \quad (8.14-1.a)$$

untuk $N_u > 0,4 N_y$

$$R_v = 0,6 f_y d_c t_w \left(1,4 - \frac{N_u}{N_y} \right) \quad (8.14-1.b)$$

- b) Jika dalam analisis rangka stabilitas daerah panel diperhitungkan, maka ,

untuk $N_u \leq 0,75 N_y$

$$R_v = 0,6 f_y d_c t_w \left(1 + \frac{3b_{cf} t_{cf}^2}{d_b d_c t_w} \right) \quad (8.14-1.c)$$

untuk $N_u > 0,75 N_y$

$$R_v = 0,6 f_y d_c t_w \left(1 + \frac{3 b_{cf} t_{cf}^2}{d_b d_c t_w} \right) \left(1,9 - \frac{1,2 N_u}{N_y} \right) \quad (8.14-1.d)$$

8.14.3 Syarat pelat perkuatan

Jika digunakan pelat pengganda maka harus memenuhi syarat-syarat Butir 8.8 sedangkan jika digunakan pengaku diagonal maka harus memenuhi syarat-syarat Butir 8.11.

8.15 Pengekang lateral

8.15.1 Pengekang lateral berupa batang harus mampu memikul gaya tekan terfaktor N_u sebesar,

$$N_u = 0,01 A_t f_y \frac{L}{L_{kr}}$$

Keterangan:

- A_t adalah luas sayap tertekan penampang komponen struktur yang dikekang jika berpenampang kompak atau luas bagian tertekan jika berpenampang tak kompak, mm²
- f_y adalah tegangan leleh batang pengkang lateral, MPa
- L adalah jarak antar pengkang lateral, mm
- L_{kr} adalah panjang tekuk batang pengkang lateral, mm

8.15.2 Jarak pengkang lateral ke tepi luar sayap tertekan tidak boleh lebih dari 1/3 tinggi penampang komponen struktur yang dikekang.

9. KOMPONEN STRUKTUR TEKAN

9.1 Perencanaan akibat gaya tekan

Suatu komponen struktur yang mengalami gaya tekan konsentris akibat beban terfaktor, N_u , harus memenuhi persyaratan sebagai berikut:

$$1) N_u \leq \phi_n N_n \quad (9.1-1)$$

Keterangan:

ϕ_n adalah faktor reduksi kekuatan (lihat Tabel 6.4-2)

N_n adalah kuat tekan nominal komponen struktur yang ditentukan berdasarkan Butir 7.6.2 dan 9.2, N

2) Perbandingan kelangsingan.

- kelangsingan elemen penampang (lihat Tabel 7.5-1) $< \lambda_r$

- kelangsingan komponen struktur tekan, $\lambda = \frac{L_k}{r} < 200$

3) Komponen struktur tekan yang elemen penampangnya mempunyai perbandingan lebar terhadap tebal lebih besar daripada nilai λ_r yang ditentukan dalam Tabel 7.5-1 harus direncanakan dengan analisis rasional yang dapat diterima.

9.2 Kuat tekan rencana akibat tekuk lentur-torsi

Kuat tekan rencana akibat tekuk lentur-torsi, $\phi_n N_{nlt}$ dari komponen struktur tekan yang terdiri dari siku-ganda atau berbentuk T, dengan elemen-elemen penampangnya mempunyai rasio lebar-tebal, λ_r lebih kecil daripada yang ditentukan dalam Tabel 7.5-1, harus memenuhi:

$$N_u \leq \phi_n N_{nlt} \quad (9.2-1)$$

dengan ϕ_n adalah faktor reduksi kekuatan (lihat Tabel 6.4-2)

$$N_{nlt} = A_g f_{clt}$$

$$f_{clt} = \left(\frac{f_{cry} + f_{crz}}{2H} \right) \left[1 - \sqrt{1 - \frac{4f_{cry}f_{crz}H}{(f_{cry} + f_{crz})^2}} \right] \quad (9.2-1.a)$$

$$\text{dan } f_{crz} = \frac{GJ}{A\bar{r}_o^2}$$

dengan,

\bar{r}_o adalah jari-jari girasi polar terhadap pusat geser

$$\bar{r}_o^2 = \frac{I_x + I_y}{A} + x_o^2 + y_o^2,$$

$$H = 1 - \left(\frac{x_o^2 + y_o^2}{\bar{r}_o^2} \right)$$

Keterangan:

x_o, y_o adalah koordinat pusat geser terhadap titik berat, $x_o = 0$ untuk siku ganda dan profil T (sumbu y - sumbu simetris)
 f_{cry} dihitung sesuai dengan persamaan (7.6-4), untuk tekuk lentur terhadap sumbu lemah y - y , dan dengan menggunakan harga λ_c , yang dihitung dengan rumus

$$\text{dan } \lambda_c = \frac{L_{ky}}{\pi r_y} \sqrt{\frac{f_y}{E}},$$

dengan L_{ky} adalah panjang tekuk dalam arah sumbu lemah y - y .

9.3 Komponen struktur tersusun prismatis dengan elemen yang dihubungkan oleh pelat melintang dan memikul gaya sentris

- 1) Komponen struktur tersusun dari beberapa elemen yang disatukan pada seluruh panjangnya boleh dihitung sebagai komponen struktur tunggal;
- 2) Pada komponen struktur tersusun yang terdiri dari beberapa elemen yang dihubungkan pada tempat-tempat tertentu, kekuatannya harus dihitung terhadap sumbu bahan dan sumbu bebas bahan. Sumbu bahan adalah sumbu yang memotong semua elemen komponen struktur itu; sedangkan, sumbu bebas bahan adalah sumbu yang sama sekali tidak, atau hanya memotong sebagian dari elemen komponen struktur itu.

Sumbu bahan adalah sumbu yang memotong semua elemen komponen struktur (lihat Gambar 9.3-1):

$x-x$ adalah sumbu bahan,
 $y-y$ adalah sumbu bebas bahan,
 $l-l$ adalah sumbu minimum dari elemen komponen struktur,
 — adalah pelat kopel.

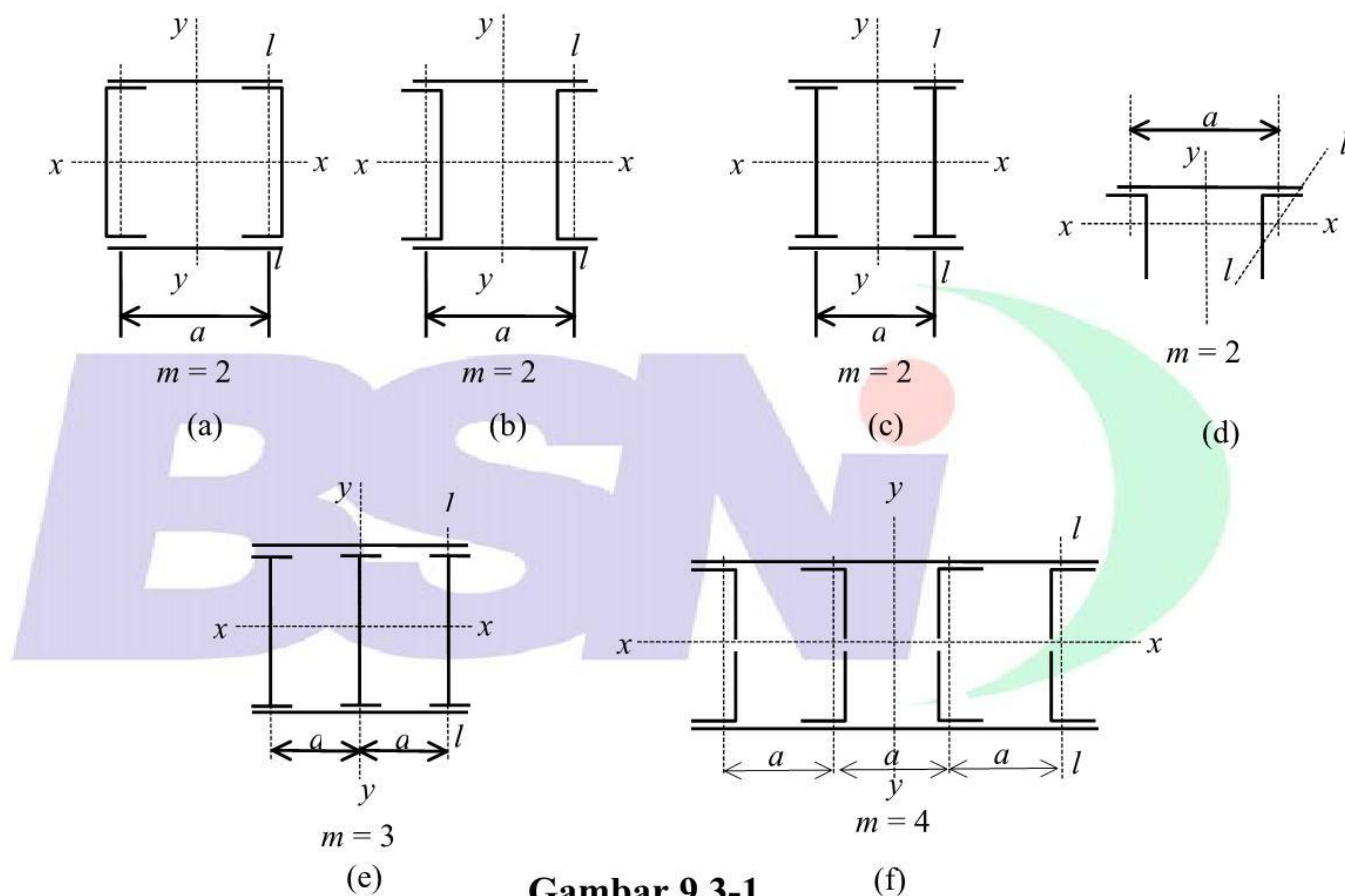
- 3) Kelangsingan pada arah tegak lurus sumbu $x-x$ dihitung dengan persamaan:

$$\lambda_x = \frac{L_{kx}}{r_x} \quad (9.3-1)$$

Keterangan:

L_{kx} adalah panjang tekuk komponen struktur tersusun pada arah tegak lurus sumbu $x-x$, dengan memperhatikan pengekang lateral yang ada, dan kondisi jepitan ujung-ujung komponen struktur, mm

r_x adalah jari-jari girasi komponen struktur tersusun terhadap sumbu $x-x$, mm



Gambar 9.3-1

Pada arah tegak lurus sumbu bebas bahan $y-y$, harus dihitung kelangsingan ideal λ_{iy} dengan persamaan:

$$\lambda_{iy} = \sqrt{\lambda_y^2 + \frac{m}{2} \lambda_l^2} \quad (9.3-2)$$

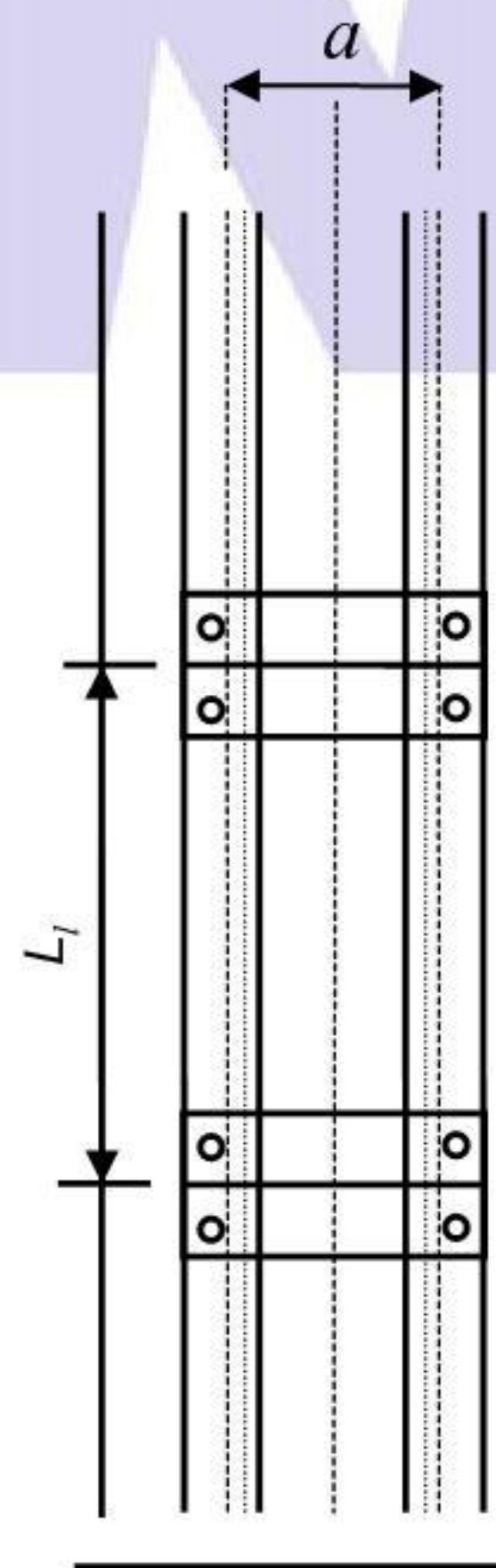
$$\lambda_y = \frac{L_{ky}}{r_y} \quad (9.3-3)$$

$$\lambda_l = \frac{L_l}{r_{min}} \quad (9.3-4)$$

Keterangan:

- m adalah konstanta seperti tercantum pada Gambar 9.3-1
- L_{ky} adalah panjang tekuk komponen struktur tersusun pada arah tegak lurus sumbu y - y , dengan memperhatikan pengekan lateral yang ada dan kondisi jepitan ujung-ujung komponen struktur, mm
- r_y adalah jari-jari girasi dari komponen struktur tersusun terhadap sumbu y - y , mm
- L_l adalah spasi antar pelat kopel pada arah komponen struktur tekan, mm
- r_{min} adalah jari-jari girasi elemen komponen struktur terhadap sumbu yang memberikan nilai yang terkecil (sumbu l - l), mm

Agar persamaan (9.3-2) dapat dipakai, harus dipenuhi syarat-syarat sebagai berikut:



Gambar 9.3-2

- a) Pelat-pelat kopel membagi komponen struktur tersusun menjadi beberapa bagian yang sama panjang atau dapat dianggap sama panjang,

- b) Banyaknya pembagian komponen struktur minimum adalah 3,
- c) Hubungan antara pelat kopel dengan elemen komponen struktur tekan harus kaku,
- d) Pelat kopel harus cukup kaku, sehingga memenuhi persamaan:

$$\frac{I_p}{a} \geq 10 \frac{I_l}{L_l} \quad (9.3-5)$$

Keterangan:

I_p adalah momen inersia pelat kopel; untuk pelat kopel di muka dan di belakang yang tebalnya t dan tingginya h , maka: $I_p = 2 \times \frac{1}{12} th^3$, mm⁴

I_l adalah momen inersia elemen komponen struktur terhadap sumbu $l-l$, mm⁴

a adalah jarak antara dua pusat titik berat elemen komponen struktur (lihat Gambar 9.3-2), mm

- 4) Koefisien tekuk ω_x dan ω_{iy} selanjutnya ditentukan oleh harga-harga λ_x dan λ_{iy} , sehingga kuat tekan nominal diambil sebagai nilai yang terkecil di antara:

$$N_n = \frac{A_g f_y}{\omega_x} \quad (9.3-6.a)$$

dan

$$N_n = \frac{A_g f_y}{\omega_{iy}} \quad (9.3-6.b)$$

- 5) Selanjutnya, perencanaan komponen struktur tersusun ini dihitung sesuai dengan persamaan (9.1-1).
- 6) Untuk menjaga kestabilan elemen-elemen penampang komponen struktur tersusun maka harga-harga λ_x dan λ_{iy} pada persamaan (9.3-1) dan (9.3-2) harus memenuhi:

$$\lambda_x \geq 1,2\lambda_l \quad (9.3-7)$$

$$\begin{aligned} &\lambda_{iy} \geq 1,2\lambda_l \\ \text{dan} \\ &\lambda_l \leq 50 \end{aligned}$$

- 7) Pelat-pelat kopel harus dihitung dengan menganggap bahwa pada seluruh panjang komponen struktur tersusun itu bekerja gaya lintang sebesar:

$$D_u = 0,02N_u \quad (9.3-8)$$

dengan N_u adalah kuat tekan perlu komponen struktur tersusun akibat beban-beban terfaktor.

Anggapan di atas tidak boleh dipakai apabila komponen struktur yang ditinjau dibebani oleh gaya-gaya tegak lurus sumbu komponen struktur atau dibebani oleh momen. Jadi tidak berlaku untuk komponen struktur tersusun yang bebannya bukan hanya tekan sentris saja. Dalam hal ini komponen struktur tersebut harus direncanakan terhadap gaya lintang yang terbesar di antara yang dihitung dengan persamaan (9.3-8) di atas dan gaya lintang yang sebenarnya terjadi.

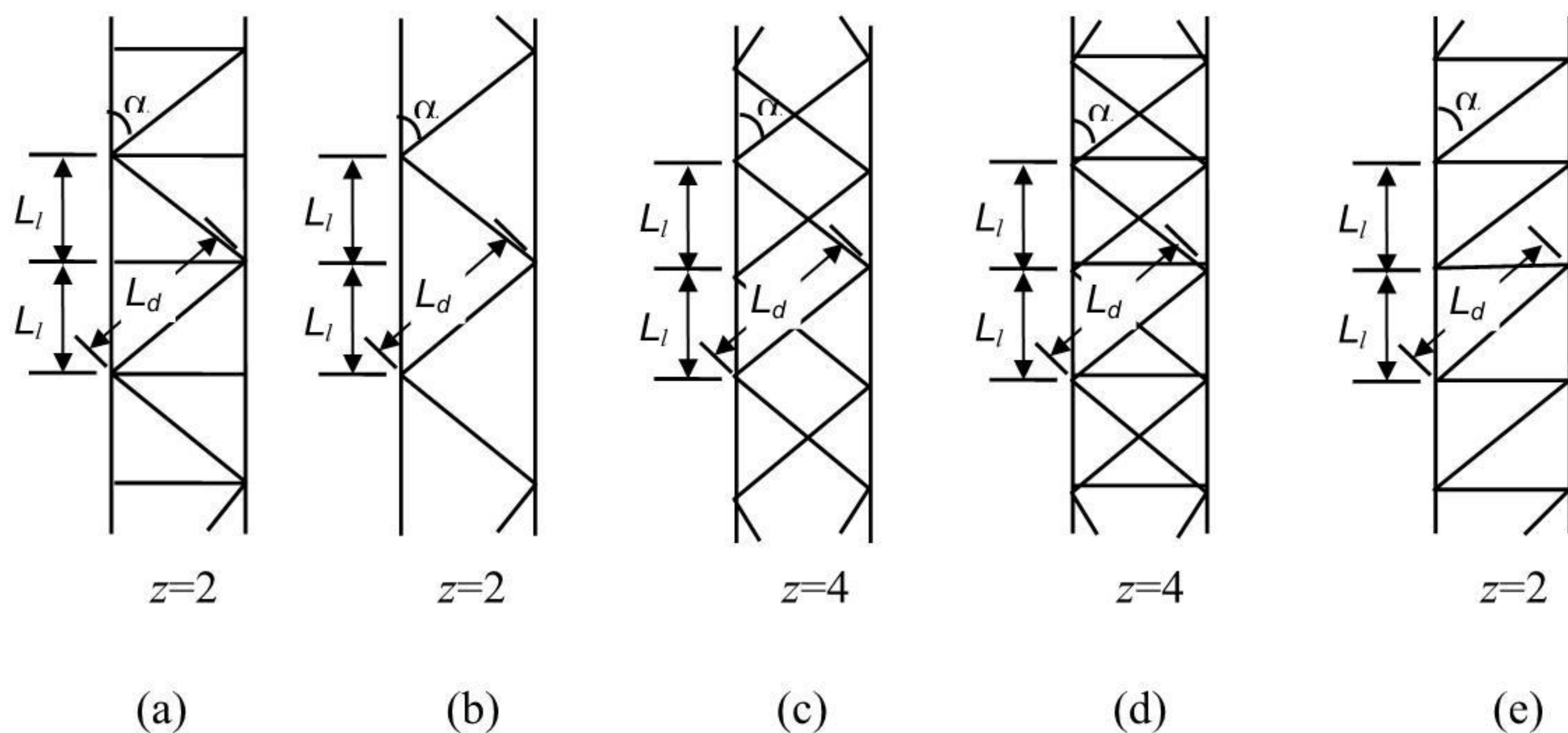
9.4 Komponen struktur tersusun prismatis dengan elemen yang dihubungkan oleh unsur diagonal dan memikul gaya sentris

- 1) Untuk menghitung kelangsingan komponen tersusun yang dihubungkan oleh unsur diagonal seperti pada Gambar 9.4-1a, 9.4-1b, 9.4-1c, dan 9.4-1d, berlaku persamaan (9.3-1), (9.3-2), dan (9.3-3) dengan:

$$\lambda_l = \pi \sqrt{\frac{AL_d^3}{zA_dL_l a^2}} \quad (9.4-1)$$

Keterangan:

- A adalah luas penampang komponen struktur tersusun, mm²
- A_d adalah luas penampang satu unsur diagonal, mm²
- L_d adalah panjang unsur diagonal, mm
- L_l adalah panjang komponen struktur pada kedua ujungnya yang dibatasi oleh unsur penghubung, mm
- a adalah jarak antara dua pusat titik berat elemen komponen struktur, mm
- z adalah konstanta yang tercantum pada masing-masing gambar (lihat Gambar 9.4-1)

**Gambar 9.4-1**

Pada komponen struktur tersusun yang dihubungkan dengan unsur diagonal seperti terlihat pada Gambar 9.4-1e, berlaku persamaan:

$$\lambda_l = \pi \sqrt{\frac{AL_d^3}{zA_d L_l a^2} + \frac{Aa}{2A_h L_l}} \quad (9.4-2)$$

dengan A_h adalah luas penampang satu unsur penghubung horizontal;

- 2) Koefisien tekuk ω_x dan ω_{iy} selanjutnya dapat ditentukan dari harga-harga λ_x dan λ_{iy} , sehingga pemeriksaan kekuatan dapat dilakukan sesuai dengan persamaan (9.1-1) dan (9.3-6);
- 3) Kuat perlu unsur diagonal, S_u , dihitung dengan persamaan:

$$S_u = \frac{D_u}{n \sin \alpha} \quad (9.4-3)$$

Keterangan:

D_u adalah gaya lintang akibat beban terfaktor, N

n adalah jumlah unsur diagonal pada suatu potongan mendatar

α adalah sudut antara unsur diagonal dengan vertikal, derajat

9.5 Komponen struktur tersusun yang tidak mempunyai sumbu bahan

- 1) Kelangsingan ideal dari komponen struktur tersusun pada Gambar 9.5-1 terhadap sumbu x dan sumbu y dihitung sebagai berikut:

$$\lambda_{ix} = \sqrt{\lambda_x^2 + \frac{m}{2} \lambda_l^2} \quad (9.5-1)$$

$$\lambda_{iy} = \sqrt{\lambda_y^2 + \frac{m^*}{2} \lambda_l^2}$$

Harga λ_l dapat dihitung dengan persamaan (9.3-4) atau (9.4-1) atau (9.4-2) dan nilai-nilai m dan m^* tertera pada Gambar 9.5-1.

- 2) Koefisien-koefisien ω_{ix} dan ω_{iy} selanjutnya ditentukan oleh harga-harga λ_{ix} dan λ_{iy} , sehingga pemeriksaan kekuatan nominal dapat dihitung dari nilai terkecil, sesuai dengan modifikasi persamaan (9.3-6):

$$N_n = \frac{A_g f_y}{\omega_{ix}} \quad (9.5-2.a)$$

atau

$$N_n = \frac{A_g f_y}{\omega_{iy}} \quad (9.5-2.b)$$

Selanjutnya pemeriksaan kekuatan dapat dihitung sesuai dengan persamaan (9.1-1).

- 3) Untuk menjamin stabilitas komponen struktur maka harga-harga λ_{ix} dan λ_{iy} pada persamaan (9.5-1) harus memenuhi:

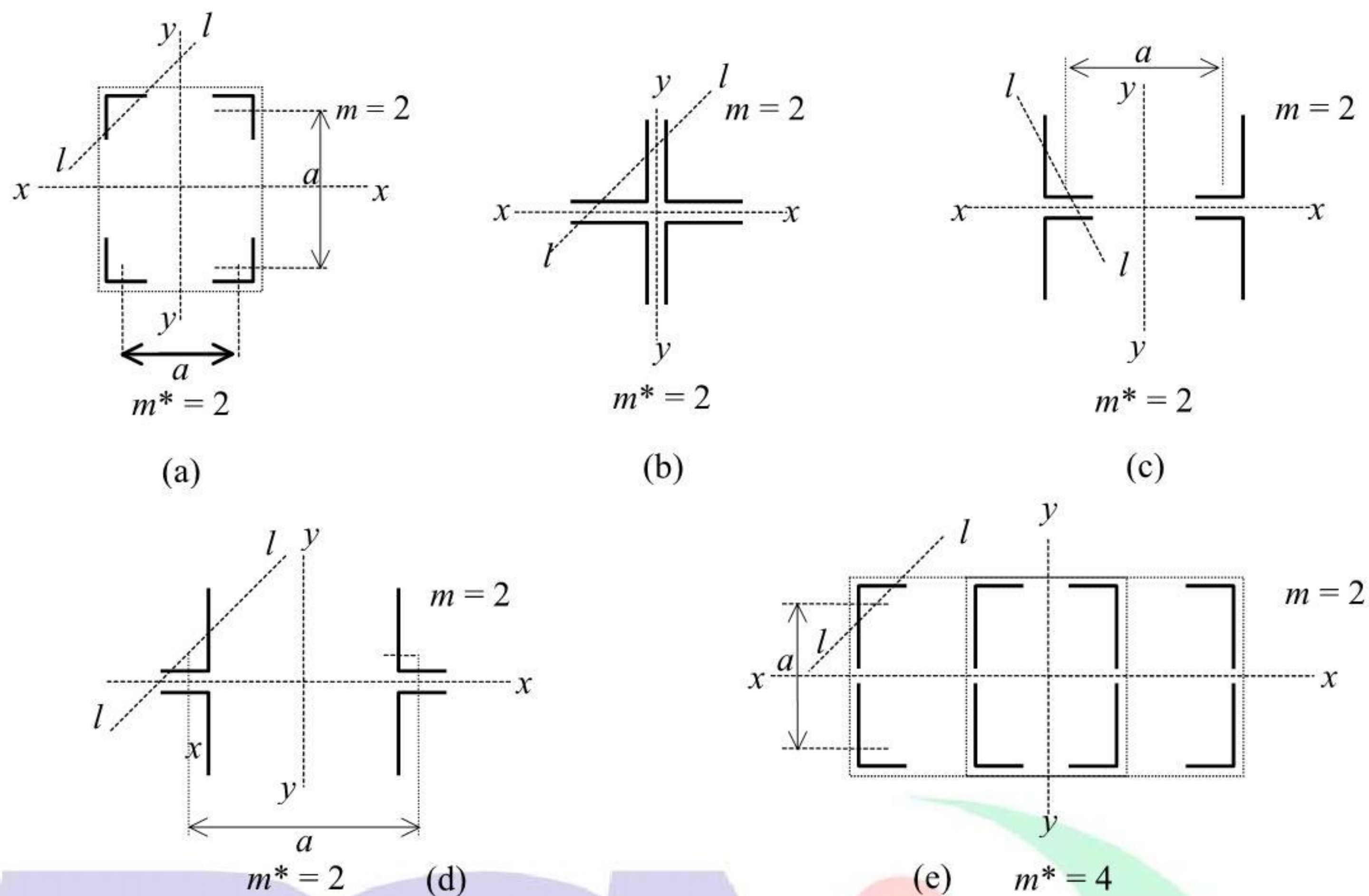
$$\lambda_{ix} \geq 1,2 \lambda_l \quad (9.5-3)$$

$$\lambda_{iy} \geq 1,2 \lambda_l$$

- 4) Seperti pada Butir 9.3.7, pada komponen struktur tersusun yang tidak mempunyai sumbu bahan, harus dianggap bekerja gaya lintang pada kedua arah sumbu penampangnya:

$$D_{xu} = 0,02 N_u \quad (9.5-4)$$

$$D_{yu} = 0,02 N_u$$

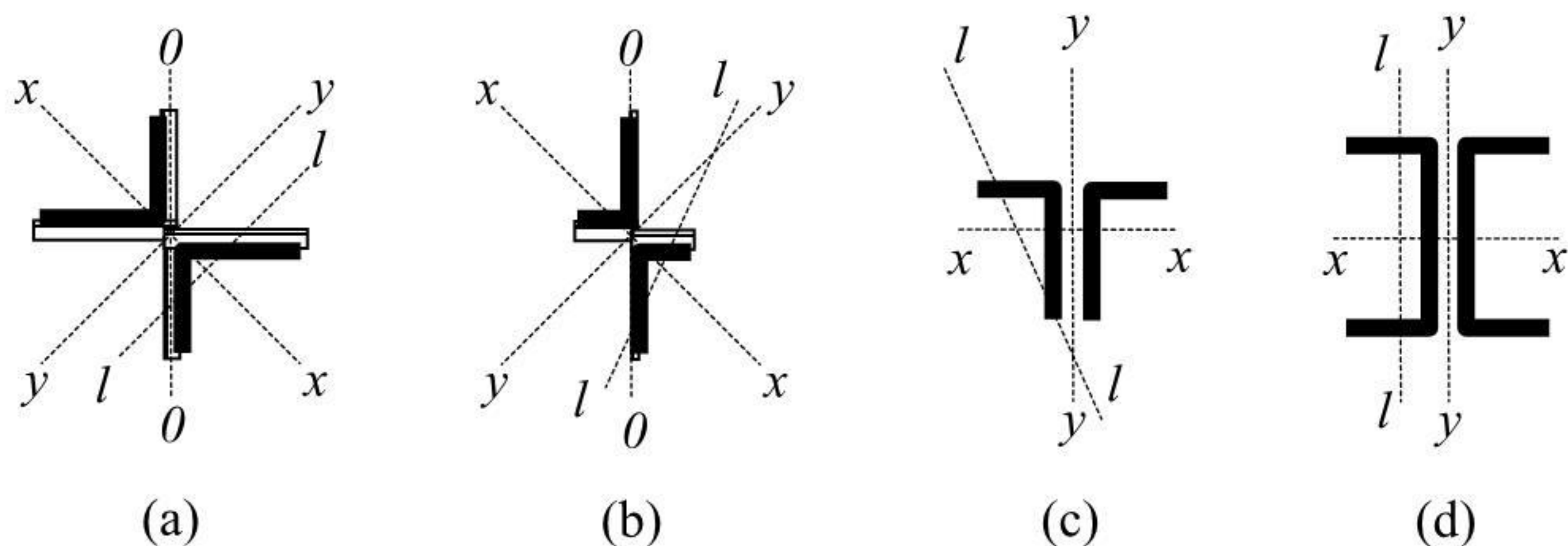


Gambar 9.5-1

9.6 Komponen struktur tersusun yang jarak antaranya sama dengan tebal pelat kopel

- 1) Komponen struktur tersusun yang terdiri dari dua baja siku seperti pada Gambar 9.6-1a dan 9.6-1b, hanya perlu dihitung terhadap tekuk pada arah sumbu bahan $x-x$;
- 2) Jika komponen struktur terdiri dari dua baja siku tidak sama kaki seperti pada Gambar 9.6-1b maka dapat dipakai persamaan pendekatan sebagai berikut:

$$r_x = 0,87 r_o \quad (9.6-1)$$



Gambar 9.6-1

dengan r_o adalah jari-jari girasi penampang komponen struktur tersusun terhadap sumbu $0-0$. Rumus yang lebih teliti senantiasa dapat dipergunakan.

- 3) Komponen struktur tersusun yang terdiri dari dua buah profil baja seperti pada Gambar 9.6-1c dan 9.6-1d, perlu dihitung terhadap tekuk pada arah sumbu bebas bahan dan arah sumbu bahan;
- 4) Untuk komponen struktur tersusun menurut Gambar 9.6-1c dan 9.6-1d, maka λ_{iy} dapat diambil sama dengan λ_y ;
- 5) Selanjutnya, perhitungan kekuatan dapat dilakukan sesuai dengan Butir 7.6.3 dan persamaan (9.1-1);

9.7 Komponen struktur tak-prismatis dengan gaya tekan sentris

- 1) Komponen struktur yang penampangnya membesar ke tengah bentang, boleh dihitung sebagai komponen struktur prismatis dengan jari-jari girasi dari penampang yang terbesar dan panjang tekuk idiil (lihat Gambar 9.7-1a) sebesar:

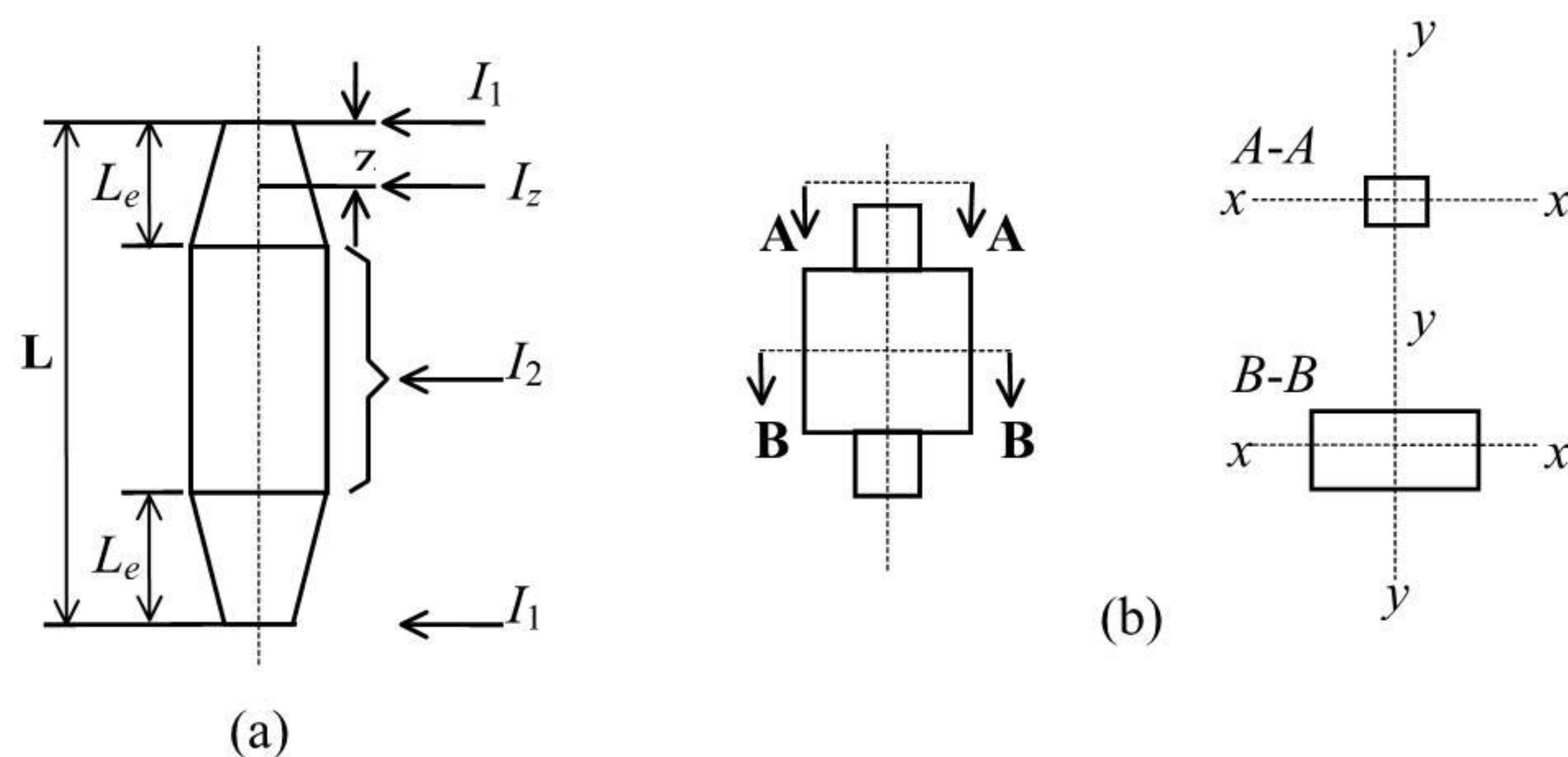
$$L_{ki} = c_l L \quad (9.7-1a)$$

- 2) Apabila ada kemungkinan tekuk pada arah x dan y , harus diperiksa dengan panjang tekuk idiil:

$$L_{kix} = c_{lx} L \quad (9.7-1b)$$

$$L_{kiy} = c_{ly} L$$

- 3) Harga c_l, c_{lx}, c_{ly} untuk komponen struktur dengan kedua ujungnya bersendi yang penampangnya berubah secara mendadak seperti pada Gambar 9.7-1b tercantum pada Tabel 9.7-1;

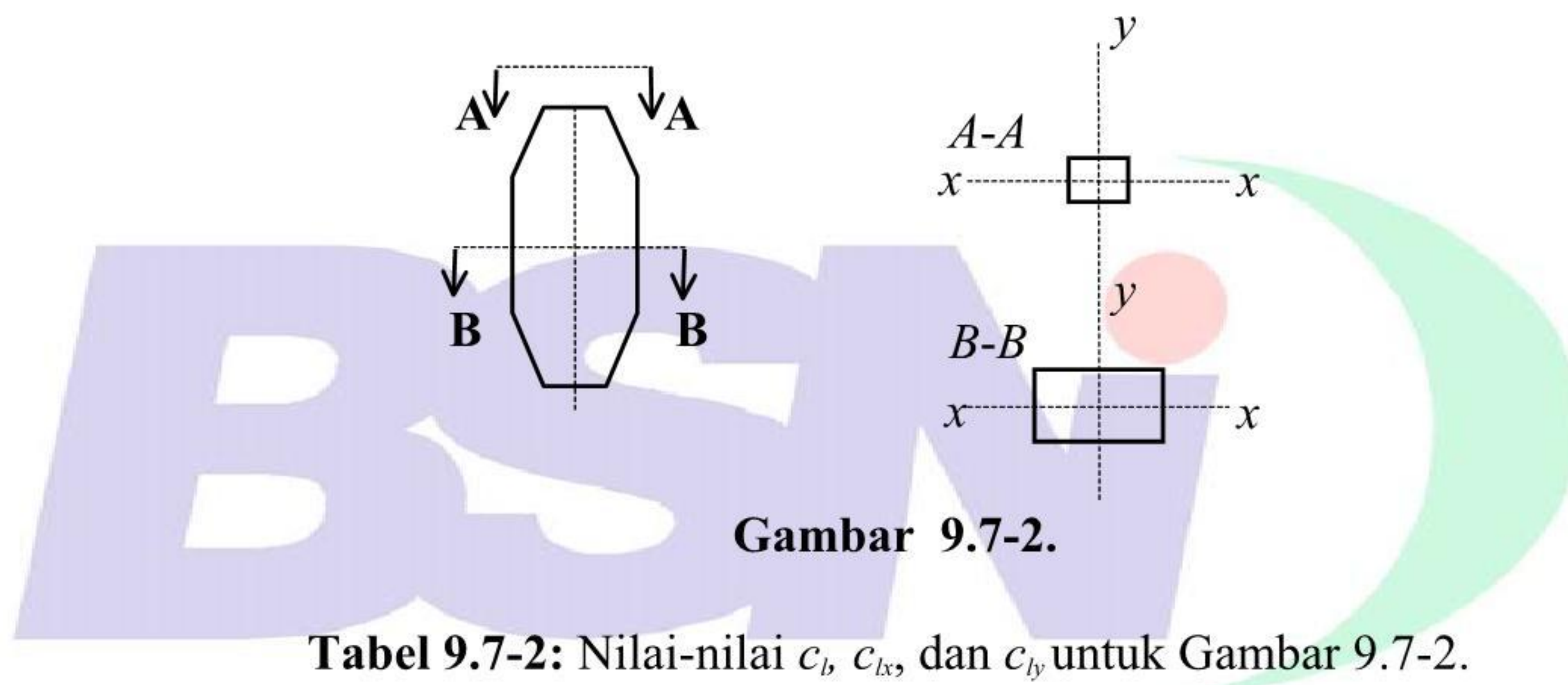


Gambar 9.7-1

Tabel 9.7-1: Nilai-nilai c_b , c_{lx} , dan c_{ly} untuk Gambar 9.7-1b

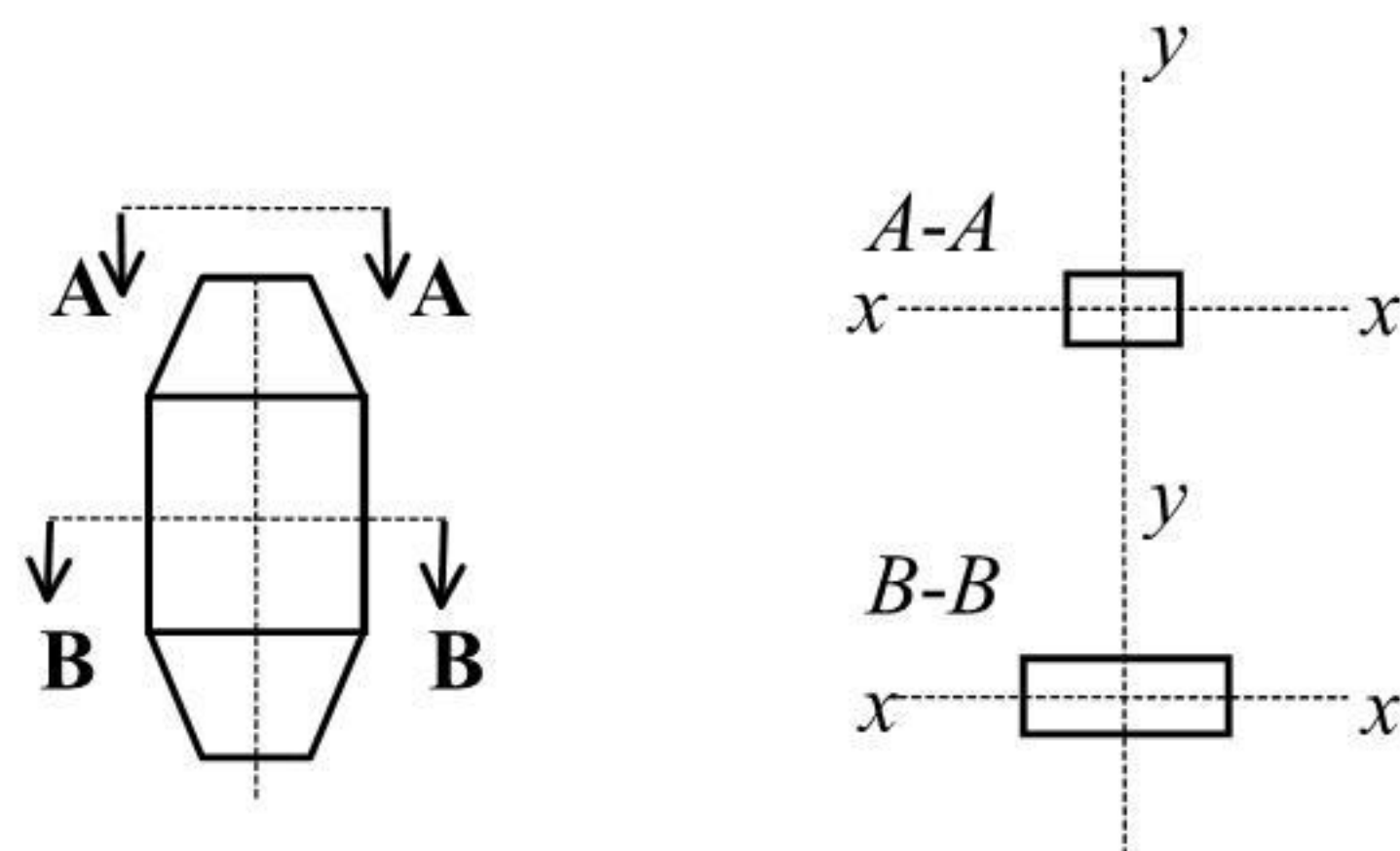
| L_e/L | l_1/l_2 | | | | | |
|---------|-----------|------|------|------|------|---|
| | 0,1 | 0,2 | 0,4 | 0,6 | 0,8 | 1 |
| 0,4 | 2,60 | 1,90 | 1,40 | 1,20 | 1,10 | 1 |
| 0,3 | 2,10 | 1,56 | 1,30 | 1,12 | 1,08 | 1 |
| 0,2 | 1,50 | 1,22 | 1,12 | 1,08 | 1,04 | 1 |
| 0,1 | 1,10 | 1,06 | 1,04 | 1,02 | 1,01 | 1 |
| 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |

- 4) Nilai c_l , c_{lx} , dan c_{ly} untuk komponen struktur dengan penampang yang tebal dan lebarnya berubah secara linier seperti pada Gambar 9.7-2, tercantum pada Tabel 9.7-2;



| L_e/L | I_1/I_2 | | | | | |
|---------|-----------|------|------|------|------|---|
| | 0,1 | 0,2 | 0,4 | 0,6 | 0,8 | 1 |
| 0,5 | 1,43 | 1,28 | 1,15 | 1,08 | 1,03 | 1 |
| 0,4 | 1,27 | 1,18 | 1,09 | 1,05 | 1,02 | 1 |
| 0,3 | 1,14 | 1,08 | 1,04 | 1,02 | 1,01 | 1 |
| 0,2 | 1,04 | 1,03 | 1,02 | 1 | 1 | 1 |
| 0,1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |

- 5) Untuk komponen struktur dengan penampang yang lebarnya berubah secara linier, sedangkan tebalnya tetap, seperti pada Gambar 9.7-3, harga c_{lx} dan c_{ly} tercantum pada Tabel 9.7-3a dan 9.7-3b;



Gambar 9.7-3

Tabel 9.7-3a: Nilai c_{lx} untuk Gambar 9.7-3.

| L_e/L | I_1/I_2 | | | | | |
|---------|-----------|------|------|------|------|---|
| | 0,1 | 0,2 | 0,4 | 0,6 | 0,8 | 1 |
| 0,5 | 1,23 | 1,18 | 1,12 | 1,07 | 1,03 | 1 |
| 0,4 | 1,14 | 1,12 | 1,07 | 1,04 | 1,02 | 1 |
| 0,3 | 1,07 | 1,05 | 1,04 | 1,02 | 1,01 | 1 |
| 0,2 | 1,03 | 1,02 | 1,02 | 1 | 1 | 1 |
| 0,1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |

Tabel 9.7-3b: Nilai c_{ly} untuk Gambar 9.7-3.

| L_e/L | I_1/I_2 | | | | | |
|---------|-----------|------|------|------|------|---|
| | 0,1 | 0,2 | 0,4 | 0,6 | 0,8 | 1 |
| 0,5 | 1,40 | 1,27 | 1,15 | 1,08 | 1,04 | 1 |
| 0,4 | 1,20 | 1,16 | 1,09 | 1,05 | 1,03 | 1 |
| 0,3 | 1,13 | 1,08 | 1,05 | 1,03 | 1,02 | 1 |
| 0,2 | 1,04 | 1,03 | 1,02 | 1 | 1 | 1 |
| 0,1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |

- 6) Dalam Tabel 9.7-1, 9.7-2, 9.7-3a, dan 9.7-3b, I_1 adalah momen inersia penampang ujung dan I_2 adalah momen inersia penampang tengah. Untuk tekuk pada arah sumbu- x , momen inersianya adalah I_{y1} dan I_{y2} . Untuk tekuk pada arah sumbu- y , momen inersianya adalah I_{x1} dan I_{x2} ;

- 7) Untuk nilai-nilai L/L dan I_1/I_2 yang berada di antara nilai-nilai yang tercantum pada tabel-tabel itu, nilai c_l, c_{lx}, c_{ly} ditentukan dengan cara interpolasi;
- 8) Dalam hal pemeriksaan tekuk terhadap sumbu-x dan sumbu-y,

$$\lambda_{ix} = \frac{L_{kix}}{r_{x2}} \quad (9.7-2)$$

$$\lambda_{iy} = \frac{L_{kiy}}{r_{y2}}$$

Nilai koefisien tekuk ω ditentukan dari nilai λ yang terbesar;

- 9) Selanjutnya perhitungan kekuatan struktur keseluruhan dapat dilakukan sesuai dengan Butir 7.6.3 dan persamaan (9.1-1).

9.8 Komponen struktur tekan pada struktur rangka batang bidang

9.8.1 Tekan pada komponen struktur tepi

- 1) Untuk tekuk pada bidang gambar, panjang tekuk batang sama dengan panjang skematisnya;
- 2) Untuk tekuk keluar bidang gambar, apabila titik kumpul kedua ujung batang itu terkekang keluar bidang gambar, panjang tekuk batang sama dengan panjang skematisnya;
- 3) Apabila titik kumpul A dan B (lihat Gambar 9.8-1) terkekang keluar bidang gambar, sedangkan titik kumpul C tidak dikekang keluar bidang gambar, dan gaya tekan pada batang AC lebih besar dari pada gaya tekan pada batang BC, maka batang AB dapat direncanakan terhadap kuat tekan perlu batang AC dengan panjang tekuk:

$$L_k = 2L \left(0,75 + 0,25 \frac{N_{uBC}}{N_{uAC}} \right) \quad (9.8-1)$$

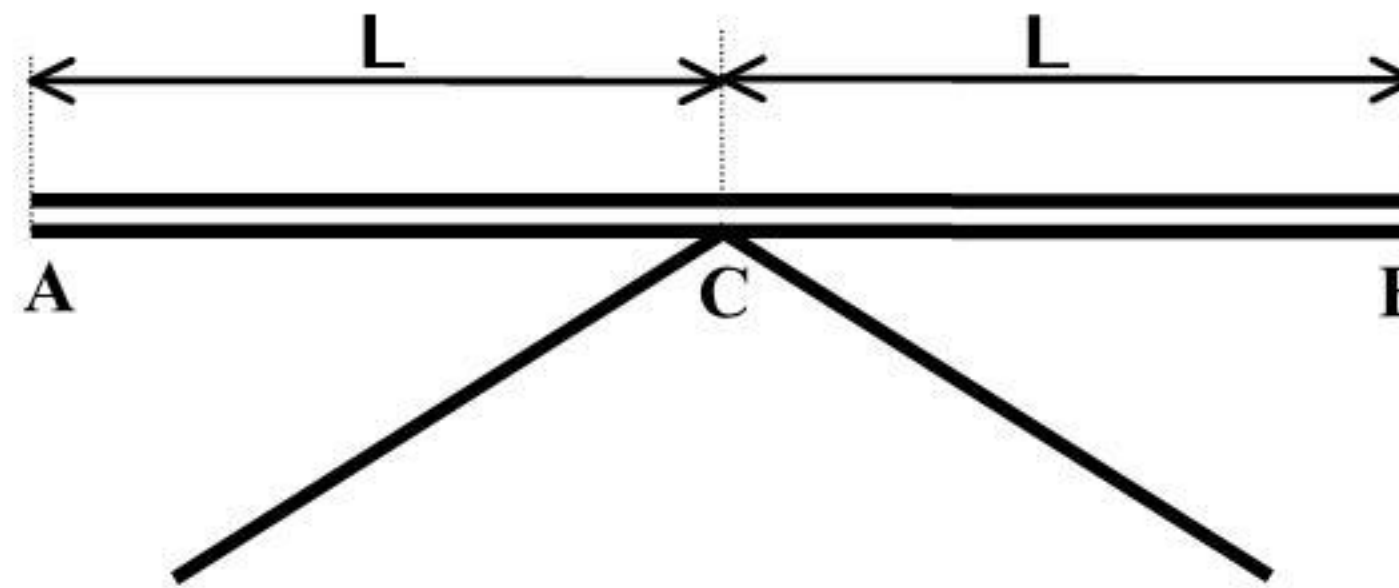
dan, $L_k \geq L$

Keterangan:

N_{uAC} adalah kuat tekan perlu batang AC (yang lebih besar), N

N_{uBC} adalah kuat tekan perlu batang BC (yang lebih kecil), N

Bilamana salah satu gaya di atas adalah gaya tarik, maka N_{uBC} adalah kuat tarik perlu dan nilainya diberi tanda negatif.



Gambar 9.8-1

- 4) Apabila di antara kedua titik kumpul ujung-ujung batang tepi itu bekerja gaya-gaya yang arahnya tegak lurus terhadap sumbu batang, maka batang tersebut dianggap memikul kombinasi tekan dan lentur, dan direncanakan menurut ketentuan pada Butir 11.

9.8.2 Tekan pada batang-batang diagonal dan vertikal

- 1) Untuk tekuk pada bidang gambar, panjang tekuk batang sama dengan panjang skematisnya;
- 2) Untuk tekuk keluar bidang gambar, panjang tekuk batang sama dengan panjang skematisnya;
- 3) Apabila batang diagonal atau batang vertikal itu adalah batang tunggal berupa baja siku yang penampang pada sambungan di titik kumpulnya seperti pada Gambar 9.8-2, batang tersebut harus dianggap memikul kombinasi tekan dan lentur arah tegak lurus sumbu x - x , dan harus memenuhi kedua ketentuan di bawah ini:
 - a) Ketentuan menurut Butir 11.3 dengan harga-harga:

Momen lentur terfaktor sebesar: $M_u = N_u e_x$

Kekuatan nominal tekan sebesar: $N_n = \frac{A_g f_y}{\omega_x}$

b) $N_u \leq \phi_n N_{nmin}$

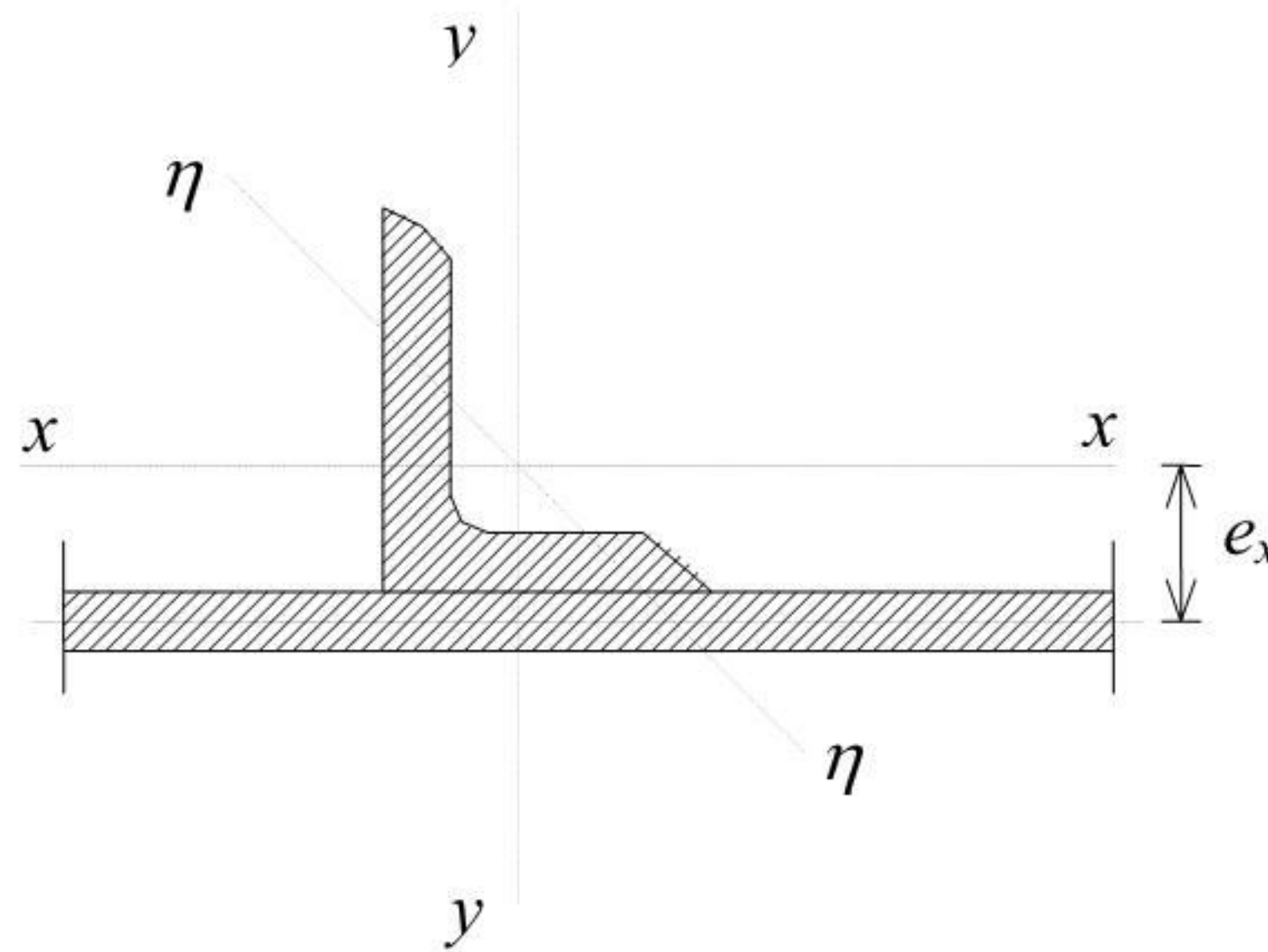
Keterangan:

e_x adalah eksentrisitas seperti terlihat pada Gambar 9.8-2

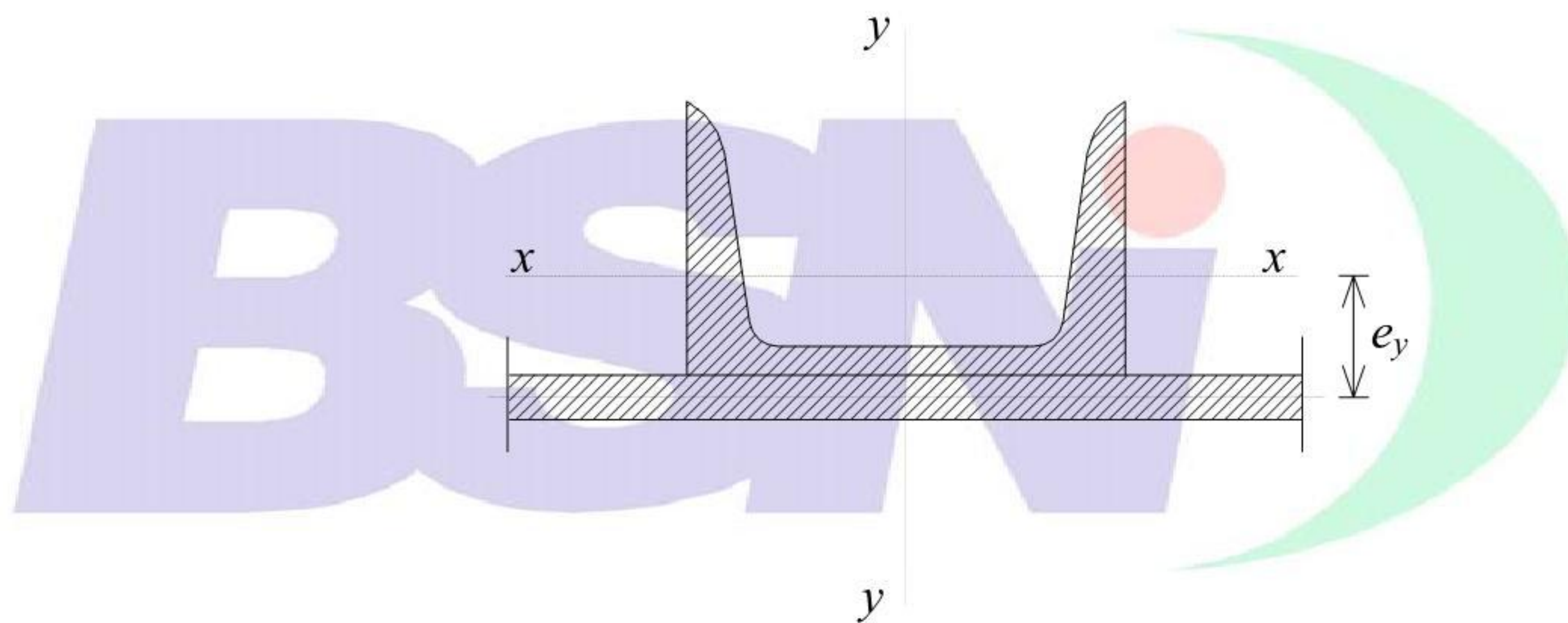
ω_x adalah koefisien tekuk yang ditentukan dengan mengambil panjang tekuk L_{kx} sama dengan 0,7 kali panjang skematisnya, dan jari-jari girasi terhadap sumbu- x (lihat Gambar 9.8-2)

ω_{max} adalah koefisien tekuk yang ditentukan dengan mengambil panjang tekuk L_k sama dengan panjang skematisnya, dan jari-jari girasi r_n terhadap sumbu η (lihat Gambar 9.8-2)

dengan $N_{nmin} = A_g f_y / \omega_{max}$ adalah kuat nominal tekan dengan koefisien tekuk ω_{max} .



Gambar 9.8-2



Gambar 9.8-3

- 4) Apabila batang tunggal pada Butir 9.8.2(3) berupa baja seperti pada Gambar 9.8-3 maka batang dianggap memikul kombinasi tekan dan lentur pada arah tegak lurus sumbu y-y dan direncanakan menurut ketentuan pada Butir 11, dengan: $M_{uy} = N_u e_y$. Dalam hal ini, panjang tekuk L_{ky} diambil sama dengan 0,7 kali panjang skematisnya.

9.9 Kolom pada bangunan portal

Selain harus memenuhi ketentuan pada butir ini, komponen struktur yang menerima gaya tekan aksial atau kombinasi lentur dan tekan aksial harus juga memenuhi persyaratan-persyaratan yang ditetapkan pada Butir 7 dan Butir 11.

10. KOMPONEN STRUKTUR YANG MENGALAMI GAYA TARIK AKSIAL

10.1 Kuat tarik rencana

Komponen struktur yang memikul gaya tarik aksial terfaktor N_u harus memenuhi:

$$N_u \leq \phi N_n \quad (10.1.1-1)$$

dengan ϕN_n adalah kuat tarik rencana yang besarnya diambil sebagai nilai terendah di antara dua perhitungan menggunakan harga-harga ϕ dan N_n di bawah ini:

$$\begin{aligned} \phi &= 0,9 \\ N_n &= A_g f_y \end{aligned} \quad (10.1.1-2.a)$$

dan

$$\begin{aligned} \phi &= 0,75 \\ N_n &= A_e f_u \end{aligned} \quad (10.1.1-2.b)$$

Keterangan:

- A_g adalah luas penampang bruto, mm^2
- A_e adalah luas penampang efektif menurut Butir 10.2, mm^2
- f_y adalah tegangan leleh, MPa
- f_u adalah tegangan tarik putus, MPa

10.2 Penampang efektif

Luas penampang efektif komponen struktur yang mengalami gaya tarik ditentukan sebagai berikut:

$$A_e = AU$$

Keterangan:

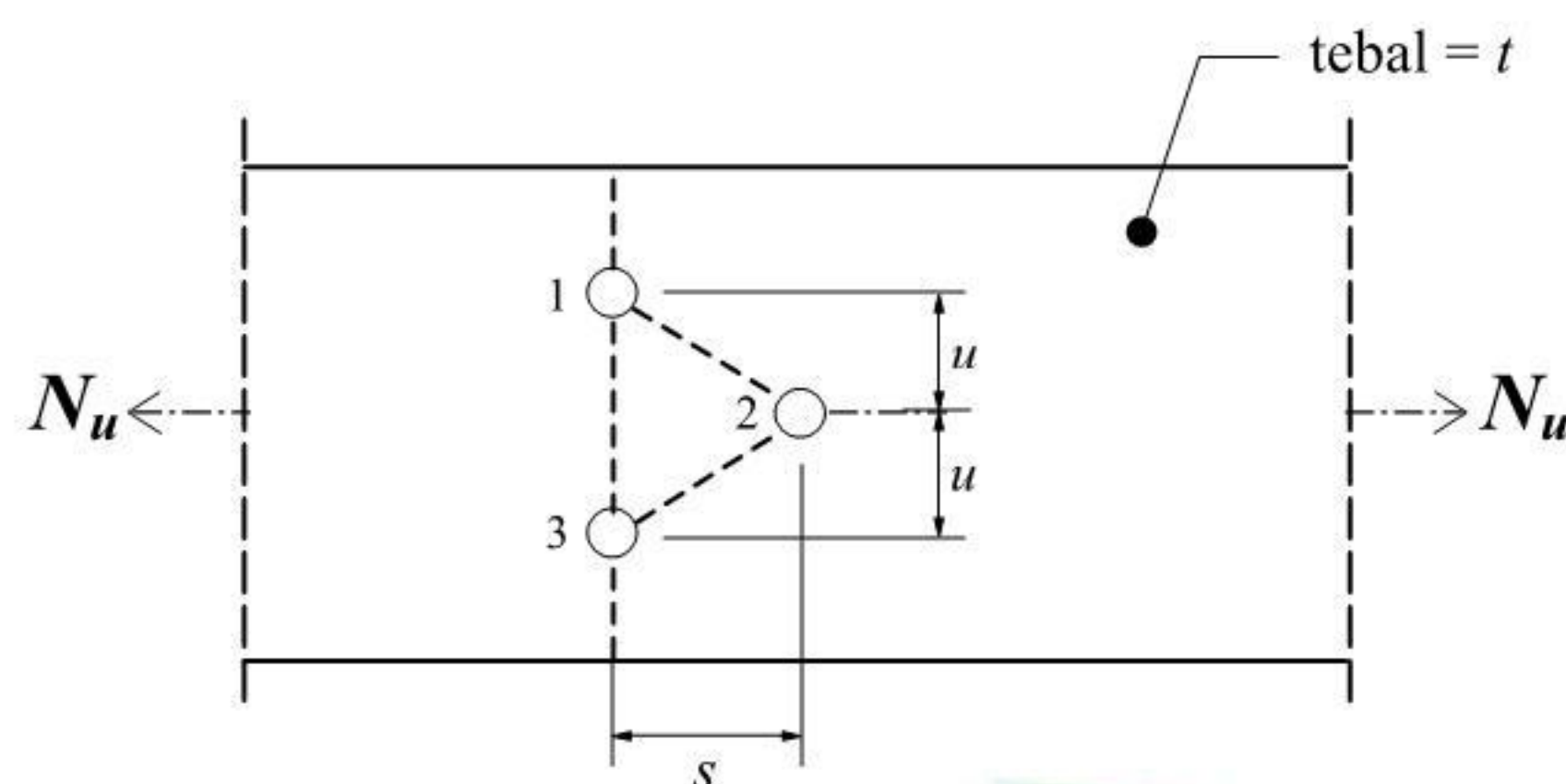
- A adalah luas penampang menurut Butir 10.2.1 sampai dengan 10.2.4, mm^2
- U adalah faktor reduksi
 $= 1 - (\underline{x} / L) \leq 0,9$, atau menurut Butir 10.2.3 dan 10.2.4
- \underline{x} adalah eksentrisitas sambungan, jarak tegak lurus arah gaya tarik, antara titik berat penampang komponen yang disambung dengan bidang sambungan, mm

L adalah panjang sambungan dalam arah gaya tarik, yaitu jarak antara dua baut yang terjauh pada suatu sambungan atau panjang las dalam arah gaya tarik, mm

10.2.1 Kasus gaya tarik hanya disalurkan oleh baut

1) $A = A_{nt}$

adalah luas penampang netto terkecil antara potongan 1-3 dan potongan 1-2-3,



Potongan 1-3: $A_{nt} = A_g - n d t$

Potongan 1-2-3: $A_{nt} = A_g - n d t + \Sigma \frac{s^2 t}{4 u}$

Keterangan:

A_g adalah luas penampang bruto, mm²

t adalah tebal penampang, mm

d adalah diameter lubang, mm

n adalah banyaknya lubang dalam garis potongan

s adalah jarak antara sumbu lubang pada arah sejajar sumbu komponen struktur, mm

u adalah jarak antara sumbu lubang pada arah tegak lurus sumbu komponen struktur

- 2) Dalam suatu potongan jumlah luas lubang tidak boleh melebihi 15% luas penampang utuh.

10.2.2 Kasus gaya tarik disalurkan oleh las memanjang

Bila gaya tarik hanya disalurkan oleh pengelasan memanjang ke komponen struktur yang bukan pelat, atau oleh kombinasi pengelasan memanjang dan melintang:

$A = A_g$, adalah luas penampang bruto komponen struktur, mm².

10.2.3 Kasus gaya tarik disalurkan oleh las melintang

Bila gaya tarik hanya disalurkan oleh pengelasan melintang:

A adalah jumlah luas penampang neto yang dihubungkan secara langsung dan $U = 1,0$.

10.2.4 Kasus gaya tarik disalurkan oleh las sepanjang dua sisi

Bila gaya tarik disalurkan ke sebuah komponen struktur pelat dengan pengelasan sepanjang kedua sisi pada ujung pelat, dengan $l \geq w$:

A adalah luas pelat,

| | |
|----------------------------|------------|
| untuk $l \geq 2w$ | $U = 1,0$ |
| untuk $2w > l \geq 1,5w$ | $U = 0,87$ |
| untuk $1,5w \geq l \geq w$ | $U = 0,75$ |

Keterangan:

l adalah panjang pengelasan, mm

w adalah lebar pelat (jarak antar sumbu pengelasan), mm

10.2.5 Nilai U dapat diambil lebih besar bila dapat dibuktikan melalui pengujian atau ketentuan lain yang dapat diterima.

10.2.6 Untuk batang berulir, luas penampang neto diambil sebesar luas penampang inti.

10.3 Komponen struktur tersusun dari dua buah profil atau lebih**10.3.1 Umum**

Komponen struktur tarik tersusun yang terdiri dari dua elemen utama atau lebih yang diharapkan berperilaku sebagai sebuah komponen struktur harus memenuhi persyaratan pada Butir 10.3.2 sampai dengan 10.3.4.

10.3.2 Beban rencana untuk sambungan

Jika komponen struktur tarik tersusun dari dua elemen utama atau lebih, sambungan antar elemen harus direncanakan mampu untuk memikul gaya-dalam akibat bekerjanya gaya-gaya luar termasuk momen lentur (jika ada). Beban terfaktor untuk batang berterali, dan beban terfaktor rencana maupun momen lentur (jika ada) untuk plat kopel harus dibagi merata diantara bidang sambung yang sejajar dengan arah gaya.

10.3.3 Komponen struktur tarik tersusun dari dua buah profil yang saling membelakangi

Komponen struktur tarik tersusun dari dua profil sejenis yang saling membelakangi baik secara kontak langsung ataupun dengan perantaraan plat kopel dengan jarak yang memenuhi syarat, harus memenuhi ketentuan sebagai berikut:

- 1) Komponen struktur tarik dengan profil-profil yang terpisah.
Profil-profil tersebut harus dihubungkan dengan salah satu cara berikut:
 - a) dengan las atau baut pada interval tertentu sehingga kelangsingan untuk setiap elemen tidak melebihi 240; atau
 - b) dengan sistem sambungan yang direncanakan sedemikian sehingga komponen struktur tersebut terbagi atas paling sedikit tiga bentang sama panjang. Sistem sambungan harus direncanakan dengan menganggap bahwa pada sepanjang komponen struktur terdapat gaya lintang sebesar 0,02 kali gaya aksial yang bekerja pada komponen struktur tersebut.
- 2) Komponen struktur tarik dengan profil yang bersinggungan langsung dan saling membelakangi.
Profil-profil tersebut harus memenuhi ketentuan yang disyaratkan dalam Butir 10.3.3(1b).

10.3.4 Komponen struktur tarik dengan penghubung

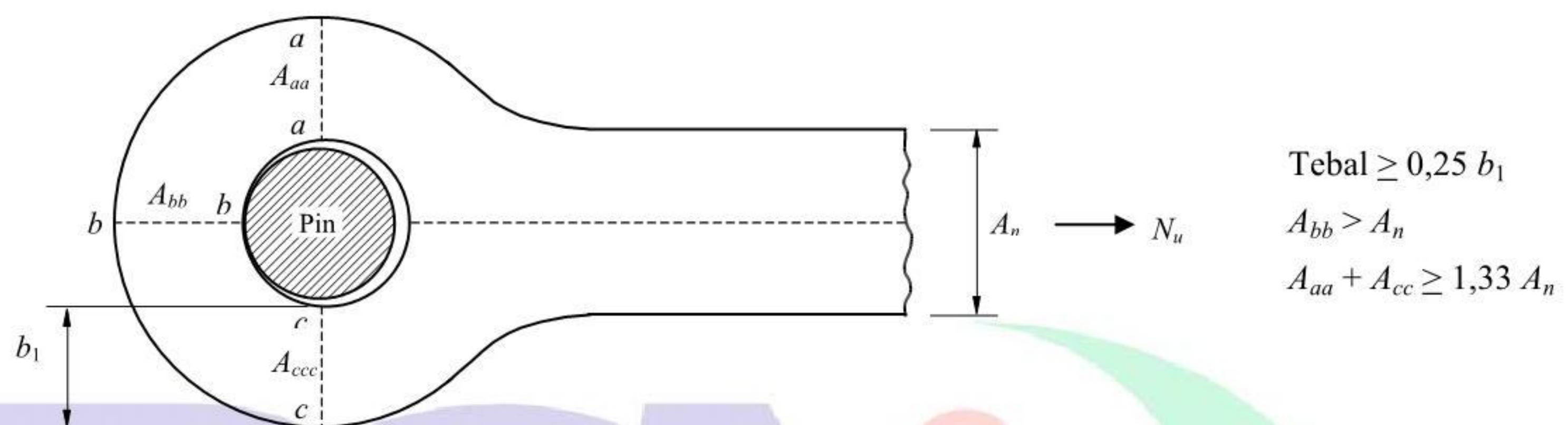
Komponen struktur tarik tersusun dari dua buah profil yang dihubungkan dengan terali atau pelat kopel harus memenuhi:

- 1) Kelangsingan komponen dengan memperhitungkan jarak antar elemen penghubung, tidak lebih dari 240 untuk komponen struktur utama, dan tidak lebih dari 300 untuk komponen sekunder;
- 2) Tebal elemen penghubung tidak kurang dari 0,02 kali jarak antara garis sambungan pelat penghubung dengan komponen utama;
- 3) Panjang pelat kopel tidak kurang dari 0,67 kali jarak antara garis sambungan pelat kopel dengan komponen utama;
- 4) Pelat kopel yang disambung dengan baut harus menggunakan paling sedikit dua buah baut yang diletakkan memanjang searah sumbu komponen struktur tarik.

10.4 Komponen struktur tarik dengan sambungan pen

Komponen struktur tarik dengan sambungan pen harus direncanakan menurut Butir 10.1. Komponen yang disambung seperti pada Gambar 10.1 harus memenuhi persyaratan tambahan sebagai berikut:

- 1) Tebal komponen struktur tanpa pengaku yang mempunyai lubang sambungan pen harus lebih besar atau sama dengan 0,25 kali jarak antara tepi lubang pen ke tepi komponen struktur yang diukur dalam arah tegak lurus terhadap sumbu komponen struktur. Batasan ini tidak berlaku untuk tebal lapisan-lapisan yang menyusun komponen struktur tarik yang digabung menggunakan baut;



Gambar 10.1

- 2) Luas irisan pada bagian ujung komponen struktur tarik di luar lubang pen, sejajar, atau di dalam sudut 45° dari sumbu komponen struktur tarik, harus lebih besar atau sama dengan luas bersih yang diperlukan oleh komponen struktur tarik;
- 3) Jumlah luas sebuah lubang pen, pada potongan tegak lurus sumbu komponen tarik, harus lebih besar atau sama dengan 1,33 kali luas bersih yang diperlukan oleh komponen struktur tarik;
- 4) Plat pen yang direncanakan untuk memperbesar luas bersih komponen struktur, atau untuk menaikkan daya dukung pen, harus disusun sehingga tidak menimbulkan eksentrisitas dan harus direncanakan mampu menyalurkan gaya dari pen ke komponen struktur tarik.

Bagian ujung dari komponen struktur dengan bentuk lainnya harus dihitung dengan analisis yang dapat diterima.

- 10.5** Komponen struktur yang menerima gaya tarik dengan sambungan terletak tidak simetris terhadap sumbu komponen yang disambungkan, harus direncanakan menurut Butir 11.

11. KOMPONEN STRUKTUR YANG MENGALAMI GAYA KOMBINASI

11.1 Umum

Ketentuan pada butir ini berlaku untuk komponen struktur prismatis yang mengalami kombinasi gaya aksial, momen lentur (terhadap satu atau kedua sumbu simetris penampang), dan torsi.

Dalam butir ini, yang dimaksud dengan sumbu kuat penampang adalah sumbu- x , sedangkan sumbu lemah penampang adalah sumbu- y .

11.2 Gaya dan momen terfaktor

Dalam butir ini:

- N_u merupakan gaya aksial terfaktor (tarik atau tekan) yang terbesar yang bekerja pada komponen struktur;
- M_u , yaitu M_{ux} dan M_{uy} , merupakan momen lentur terfaktor (terhadap sumbu- x dan sumbu- y) yang terbesar yang dihasilkan oleh beban pada rangka dan beban lateral pada komponen struktur, dan telah memperhitungkan kontribusi momen lentur orde kedua yang terjadi pada konfigurasi struktur yang telah berdeformasi. M_u harus ditentukan dari salah satu metode analisis yang dijelaskan pada Butir 7.

11.3 Komponen struktur dengan penampang simetris yang mengalami momen lentur dan gaya aksial

Komponen struktur yang mengalami momen lentur dan gaya aksial harus direncanakan memenuhi ketentuan sebagai berikut:

Untuk $\frac{N_u}{\phi N_n} \geq 0,2$:

$$\frac{N_u}{\phi N_u} + \frac{8}{9} \left(\frac{M_{ux}}{\phi_b M_{nx}} + \frac{M_{uy}}{\phi_b M_{ny}} \right) \leq 1,0$$

Untuk $\frac{N_u}{\phi N_n} < 0,2$:

$$\frac{N_u}{2\phi N_u} + \left(\frac{M_{ux}}{\phi_b M_{nx}} + \frac{M_{uy}}{\phi_b M_{ny}} \right) \leq 1,0$$

Keterangan:

- N_u adalah gaya aksial (tarik atau tekan) terfaktor, N
- N_n adalah kuat nominal penampang, N
- sesuai dengan Butir 10.2 bila N_u adalah gaya aksial tarik, atau
 - sesuai dengan Butir 9.2 bila N_u adalah gaya aksial tekan
- ϕ adalah faktor reduksi kekuatan:
- sesuai dengan Butir 10.2 untuk gaya aksial tarik, atau sama dengan 0,85 untuk gaya aksial tekan
- M_{ux}, M_{uy} adalah momen lentur terfaktor terhadap sumbu-x dan sumbu-y menurut Butir 7, N-mm
- M_{nx}, M_{ny} adalah kuat nominal lentur penampang terhadap sumbu-x dan sumbu-y menurut Butir 8, N-mm
- $\phi_b = 0,9$ adalah faktor reduksi kuat lentur

11.3.1 Ketentuan dalam Butir 11.3.1 ini dapat digunakan bagi komponen struktur berpenampang I dengan rasio $b_f / d \leq 1,0$ dan komponen struktur berpenampang kotak, apabila komponen struktur tersebut merupakan bagian dari struktur rangka dengan ikatan (bresing).

$$\left(\frac{M_{ux}}{\phi_b M'_{px}} \right)^{\zeta} + \left(\frac{M_{uy}}{\phi_b M'_{py}} \right)^{\zeta} \leq 1,0$$

$$\left(\frac{c_{mx} M_{ux}}{\phi_b M'_{nx}} \right)^{\eta} + \left(\frac{c_{my} M_{uy}}{\phi_b M'_{ny}} \right)^{\eta} \leq 1,0$$

1) Komponen struktur berpenampang I:

untuk $b_f/d < 0,5$: $\zeta = 1,0$

untuk $0,5 \leq b_f/d \leq 1,0$: $\zeta = 1,6 - \frac{N_u / N_y}{2[\ln(N_u / N_y)]}$

untuk $b_f/d < 0,3$: $\eta = 1,0$

untuk $0,3 \leq b_f/d \leq 1,0$: $\eta = 0,4 + \frac{N_u}{N_y} + \frac{b_f}{d} \geq 1,0$

Keterangan:

b_f adalah lebar sayap, mm

d adalah tinggi penampang, mm

c_m adalah koefisien lentur kolom sesuai Butir 7.4.3.1

$$M'_{px} = 1,2M_{px} \left[1 - \left(\frac{N_u}{N_y} \right) \right] \leq M_{px}$$

$$M'_{py} = 1,2M_{py} \left[1 - \left(\frac{N_u}{N_y} \right)^2 \right] \leq M_{py}$$

$$M'_{nx} = M_{nx} \left(1 - \frac{N_u}{\phi_c N_n} \right) \left(1 - \frac{N_u}{N_{crx}} \right)$$

$$M'_{ny} = M_{ny} \left(1 - \frac{N_u}{\phi_c N_n} \right) \left(1 - \frac{N_u}{N_{cry}} \right)$$

2) Komponen struktur berpenampang kotak (*box*):

$$\zeta = 1,7 - \frac{N_u / N_y}{\ln(N_u / N_y)}$$

$$\eta = 1,7 - \frac{N_u / N_y}{\ln(N_u / N_y)} - a \lambda_x \left(\frac{N_u}{N_y} \right)^b > 1,1$$

untuk $N_u / N_y \leq 0,4$: $a = 0,06$ $b = 1,0$

untuk $N_u / N_y > 0,4$: $a = 0,15$ $b = 2,0$

$$M'_{px} = 1,2M_{px} \left[1 - \frac{N_u}{N_y} \right] \leq M_{px}$$

$$M'_{py} = 1,2M_{py} \left[1 - \frac{N_u}{N_y} \right] \leq M_{py}$$

$$M'_{nx} = M_{nx} \left(1 - \frac{N_u}{\phi_c N_n} \right) \left(1 - \frac{N_u}{N_{crx}} \frac{1,25}{(B/H)^{1/3}} \right)$$

$$M'_{ny} = M_{ny} \left(1 - \frac{N_u}{\phi_c N_n} \right) \left(1 - \frac{N_u}{N_{cry}} \frac{1,25}{(B/H)^{1/2}} \right)$$

dengan $N_y = A_g f_y$ dan $N_{cr} = A_g f_y / \lambda_c^2$,

Keterangan:

- λ_c adalah parameter kelangsingan menurut Butir 9.2
 M_{px} adalah momen plastis terhadap sumbu- $x \leq 1,5 f_y S_x$, N-mm
 M_{py} adalah momen plastis terhadap sumbu- $y \leq 1,5 f_y S_y$, N-mm
 S_x, S_y adalah modulus penampang terhadap sumbu- x dan y , mm³
 B adalah lebar luar penampang kotak, sejajar sumbu utama x , mm
 H adalah tinggi luar penampang kotak, tegak lurus sumbu utama x , mm

11.3.2 Perencanaan dengan menggunakan persamaan interaksi yang berbeda dari ketentuan di atas dapat dilakukan bila dapat dibuktikan dengan perhitungan yang dapat diterima.

11.4 Komponen struktur dengan penampang tak-simetris, dan komponen struktur yang mengalami pembebanan torsi dan kombinasi

Ketentuan berikut ini berlaku bagi jenis komponen struktur dan jenis pembebanan yang tidak termasuk dalam uraian Butir 11.3 di atas, yaitu:

- komponen struktur yang tak-simetris,
- pembebanan torsi,
- pembebanan kombinasi: torsi, lentur, gaya lintang, dan/atau gaya aksial.

Kuat rencana dari komponen struktur, ϕf_y , harus selalu lebih besar atau sama dengan kuat perlu komponen struktur yang dinyatakan dengan tegangan normal, f_{un} , atau tegangan geser, f_{uv} .

a) Untuk kondisi batas pada kasus leleh akibat tegangan normal:

$$f_{un} \leq \phi f_y, \text{ dengan } \phi = 0,90$$

b) Untuk kondisi batas pada kasus leleh akibat gaya geser:

$$f_{uv} \leq 0,6 \phi f_y, \text{ dengan } \phi = 0,90$$

c) Untuk kondisi batas pada kasus tekuk:

$$f_{un} \text{ atau } f_{uv} \leq \phi_c f_{cr} \text{ , dengan } \phi_c = 0,85$$

Keterangan:

f_y adalah tegangan leleh, MPa

f_{cr} adalah tegangan kritis menurut Butir 9, MPa

f_{un}, f_{uv} adalah tegangan akibat beban terfaktor yang ditentukan dengan analisis elastis, MPa



12. KOMPONEN STRUKTUR KOMPOSIT

12.1 Ruang lingkup

Pedoman ini berlaku untuk perencanaan:

- 1) Kolom komposit yang terbuat dari profil baja gilas atau baja tersusun atau baja pipa atau baja berongga dan beton, yang bekerja bersama-sama dalam memikul beban;
- 2) Balok baja yang memikul pelat beton bertulang dan bekerja bersama-sama dengan pelat tersebut sebagai satu kesatuan dalam memikul lentur;
- 3) Balok komposit sederhana atau menerus dengan penghubung geser; atau profil baja yang diberi selubung beton, baik yang dibangun dengan atau tanpa penumpu sementara (perancah).

12.2 Prinsip-prinsip dasar perencanaan

12.2.1 Penentuan gaya yang bekerja

Dalam menentukan besar gaya-gaya yang dipikul oleh komponen-komponen struktur dan sambungan dari suatu sistem struktur komposit harus diperhatikan luas efektif penampang komponen struktur untuk setiap tahapan pembebanan yang ditinjau.

12.2.2 Analisis elastis

Nilai momen inersia penampang dapat dianggap konstan di sepanjang bentang untuk analisis elastis struktur balok komposit yang menerus dan tanpa voute di daerah tumpuan. Dalam hal ini, momen inersia penampang komposit di daerah momen positif balok dapat diambil sebagai nilai momen inersia yang berlaku di sepanjang bentang balok yang ditinjau tersebut.

12.2.3 Analisis plastis

Analisis plastis untuk perhitungan kuat lentur komponen struktur komposit dapat dilakukan dengan menggunakan distribusi tegangan plastis.

12.2.4 Distribusi tegangan plastis

Untuk distribusi tegangan plastis pada daerah momen positif balok komposit yang menggunakan penghubung geser, tegangan tekan sebesar $0,85f'_c$ dianggap bekerja dengan distribusi merata di

sepanjang daerah tekan efektif penampang pelat beton. Kuat tarik beton dalam hal ini diabaikan. Tegangan baja pada balok komposit tersebut diambil sebesar f_y dengan distribusi merata baik di daerah tarik maupun di daerah tekan penampang baja.

Untuk distribusi tegangan plastis pada daerah momen negatif balok komposit tersebut, tegangan tarik tulangan longitudinal yang berada dalam daerah lebar efektif pelat beton diambil sebesar f_{yr} , tegangan tarik beton diabaikan, dan tegangan tarik baja diambil sebesar f_y dengan distribusi merata baik di daerah tarik maupun di daerah tekan penampang baja.

12.2.5 Distribusi tegangan elastis

Distribusi tegangan elastis pada penampang ditentukan dengan menganggap distribusi regangan beton dan baja yang linier pada penampang komposit. Tegangan yang bekerja pada baja atau beton tersebut merupakan hasil perkalian antara regangan yang terjadi dengan modulus elastisitas baja E , atau modulus elastisitas beton E_c . Kuat tarik beton diabaikan. Tegangan maksimum pada baja tidak boleh melebihi f_y sedangkan tegangan tekan maksimum pada beton tidak boleh lebih dari $0,85f'_c$. Untuk jenis balok hibrida komposit, tegangan maksimum pada sayap penampang tidak boleh melebihi f_{yf} , namun regangan pada badan penampang boleh melebihi regangan leleh. Pada kondisi seperti ini, tegangan pada badan penampang diambil sebesar f_{yw} .

12.2.6 Balok komposit penuh

Untuk balok komposit penuh, penghubung geser harus disediakan dalam jumlah yang memadai sehingga balok mampu mencapai kuat lentur maksimumnya. Pada penentuan distribusi tegangan elastis, slip antara baja dan beton dianggap tidak terjadi.

12.2.7 Balok komposit parsial

Pada balok komposit parsial, kekuatan balok dalam memikul lentur dibatasi oleh kekuatan penghubung geser. Perhitungan elastis untuk balok ini, seperti pada penentuan defleksi atau tegangan akibat beban layan, harus mempertimbangkan pengaruh adanya slip antara baja dan beton.

12.2.8 Balok baja yang diberi selubung beton

Walaupun tidak diberi angker, balok baja yang diberi selubung beton di semua permukaannya dianggap bekerja secara komposit dengan beton, selama hal-hal berikut ini dipenuhi:

- 1) Tebal minimum selubung beton yang menyelimuti baja tidak kurang daripada 50 mm, kecuali yang disebutkan pada Butir 12.2.8(2) di bawah;
- 2) Posisi tepi atas balok baja tidak boleh kurang daripada 40 mm di bawah sisi atas pelat beton dan 50 mm di atas sisi bawah pelat;
- 3) Selubung beton harus diberi kawat jaring atau baja tulangan dengan jumlah yang memadai untuk menghindari terlepasnya bagian selubung tersebut pada saat balok memikul beban.

12.2.9 Kolom komposit

Kolom yang terbuat dari penampang baja gilas atau tersusun yang diberi selubung beton di sekelilingnya, ataupun yang terbuat dari penampang baja berongga yang diisi dengan beton struktural harus direncanakan sesuai dengan Butir 12.3.

12.3 Komponen struktur tekan

12.3.1 Batasan

Kriteria untuk kolom komposit bagi komponen struktur tekan:

- 1) Luas penampang profil baja minimal sebesar 4% dari luas penampang komposit total;
- 2) Selubung beton untuk penampang komposit yang berintikan baja harus diberi tulangan baja longitudinal dan tulangan pengekang lateral. Tulangan baja longitudinal harus menerus pada lantai struktur portal, kecuali untuk tulangan longitudinal yang hanya berfungsi memberi kekangan pada beton. Jarak antar pengikat lateral tidak boleh melebihi $\frac{2}{3}$ dari dimensi terkecil penampang kolom komposit. Luas minimum penampang tulangan transversal (atau longitudinal) tidak boleh kurang dari $0,18 \text{ mm}^2$ untuk setiap mm jarak antar tulangan transversal (atau longitudinal) terpasang. Tebal bersih selimut beton dari tepi terluar tulangan longitudinal dan transversal minimal sebesar 40 mm;
- 3) Mutu beton yang digunakan tidak lebih tinggi daripada 55 MPa dan tidak kurang dari 21 MPa untuk beton normal dan tidak kurang dari 28 MPa untuk beton ringan;

- 4) Tegangan leleh profil dan tulangan baja yang digunakan untuk perhitungan kekuatan kolom komposit tidak boleh melebihi 380 MPa;
- 5) Tebal minimum dinding pipa baja atau penampang baja berongga yang diisi beton adalah $b\sqrt{f_y/3E}$ untuk setiap sisi selebar b pada penampang persegi dan $D\sqrt{f_y/8E}$ untuk penampang bulat yang mempunyai diameter luar D .

12.3.2 Kuat rencana

Kuat rencana kolom komposit yang menumpu beban aksial adalah $\phi_c N_n$, dengan $\phi_c = 0,85$.

$$N_n = A_s f_{cr} \quad (12.3-1)$$

dan $f_{cr} = \frac{f_{my}}{\omega}$

untuk $\lambda_c \leq 0,25$ maka $\omega = 1$

untuk $0,25 < \lambda_c < 1,2$ maka $\omega = \frac{1,43}{1,6 - 0,67\lambda_c}$

untuk $\lambda_c \geq 1,2$ maka $\omega = 1,25\lambda_c^2$

dengan,

$$\lambda_c = \frac{k_c L}{r_m \pi} \sqrt{\frac{f_{my}}{E_m}}$$

$$f_{my} = f_y + c_1 f_{yr} \left(\frac{A_r}{A_s} \right) + c_2 f'_c \left(\frac{A_c}{A_s} \right)$$

$$E_m = E + c_3 E_c \left(\frac{A_c}{A_s} \right)$$

$$E_c = 0,041 w^{1,5} \sqrt{f'_c}$$

Keterangan:

- A_c adalah luas penampang beton, mm²
 A_r adalah luas penampang tulangan longitudinal, mm²
 A_s adalah luas penampang profil baja, mm²
 E adalah modulus elastisitas baja, MPa
 E_c adalah modulus elastisitas beton, MPa

| | |
|-------------|--|
| E_m | adalah modulus elastisitas untuk perhitungan kolom komposit, MPa |
| f_{cr} | adalah tegangan tekan kritis, MPa |
| f_y | adalah tegangan leleh untuk perhitungan kolom komposit, MPa |
| f_y | adalah tegangan leleh profil baja, MPa |
| f_c' | adalah kuat tekan karakteristik beton, MPa |
| k_c | adalah faktor panjang efektif kolom |
| L | adalah panjang unsur struktur, mm |
| N_n | adalah kuat aksial nominal, N |
| r_m | adalah jari-jari girasi kolom komposit, mm |
| w | adalah berat jenis beton, kg/m ³ |
| λ_c | adalah parameter kelangsingan |
| ϕ_c | adalah faktor reduksi beban aksial tekan |
| ω | adalah faktor tekuk |

Pada persamaan di atas, c_1 , c_2 , dan c_3 adalah koefisien yang besarnya:

- Untuk pipa baja yang diisi beton:
 $c_1=1,0$, $c_2=0,85$, dan $c_3=0,4$
- Untuk profil baja yang diberi selubung beton:
 $c_1=0,7$, $c_2=0,6$, dan $c_3=0,2$.

12.3.3 Kolom komposit yang tersusun atas beberapa profil baja

Jika penampang komposit terdiri atas dua atau lebih profil baja maka profil-profil baja tersebut harus diikat satu sama lainnya dengan menggunakan pelat pengikat atau teralis untuk mencegah terjadinya tekuk pada masing-masing profil baja sebelum beton mengeras.

12.3.4 Penyaluran beban

Bagian dari kuat rencana kolom komposit pemikul beban aksial yang diterima beton harus disalurkan melalui tumpuan langsung pada sambungan. Bila luas beton penumpu lebih besar daripada luas daerah pembebanan pada satu atau beberapa sisi, sedangkan pada sisi-sisi lainnya pergerakannya terhadap pengembangan lateral dibatasi, maka kuat rencana maksimum beton penumpu harus diambil sebesar,

$$1,7 \phi_c f_c' A_B, \text{ dengan } \phi_c = 0,60 \text{ dan } A_B \text{ adalah luas daerah pembebanan.}$$

12.4 Komponen struktur lentur

12.4.1 Lebar efektif pelat beton

Lebar efektif pelat lantai yang membentang pada masing-masing sisi dari sumbu balok tidak boleh melebihi:

- a) Seperdelapan dari bentang balok (jarak antara tumpuan);
- b) Setengah jarak bersih antara sumbu balok-balok yang bersebelahan;
- c) Jarak ke tepi pelat.

12.4.2 Kekuatan balok komposit dengan penghubung geser

12.4.2.1 Kuat lentur positif rencana $\phi_b M_n$, ditentukan sebagai berikut :

a) untuk $\frac{h}{t_w} \leq \frac{1.680}{\sqrt{f_{yf}}}$

dengan $\phi_b = 0,85$ dan M_n dihitung berdasarkan distribusi tegangan plastis pada penampang komposit.

b) untuk $\frac{h}{t_w} > \frac{1.680}{\sqrt{f_{yf}}}$

dengan $\phi_b = 0,90$ dan M_n ditentukan berdasarkan superposisi tegangan-tegangan elastis yang memperhitungkan pengaruh tumpuan sementara (perancah).

12.4.2.2 Kuat lentur negatif rencana $\phi_b M_n$, harus dihitung untuk penampang baja saja, dengan mengikuti ketentuan-ketentuan pada Butir 8.

12.4.2.3 Sebagai alternatif, kuat lentur negatif rencana $\phi_b M_n$, dapat dihitung dengan mengambil $\phi_b = 0,85$ dan M_n yang besarnya ditentukan berdasarkan distribusi tegangan plastis pada penampang komposit, selama hal-hal berikut dipenuhi:

- 1) Balok baja mempunyai penampang kompak yang diberi pengaku yang memadai, sebagaimana yang didefinisikan pada Butir 8;
- 2) Pelat beton dan balok baja di daerah momen negatif harus disatukan dengan penghubung geser;
- 3) Tulangan pelat yang sejajar dengan balok baja di sepanjang daerah lebar efektif pelat beton harus diangker dengan baik.

12.4.2.4 Perhitungan tegangan elastis dan lendutan pada balok komposit parsial harus memperhitungkan pengaruh adanya slip antara pelat beton dan balok baja. Untuk perhitungan elastis ini, momen inersia efektif I_{eff} balok komposit parsial dihitung sebagai berikut:

$$I_{eff} = I_s + (I_{tr} - I_s) \sqrt{(\sum Q_n / C_f)} \quad (12.4-1)$$

Keterangan:

C_f adalah gaya tekan pada pelat beton untuk kondisi komposit penuh, N

I_s adalah momen inersia penampang baja, mm⁴

I_{tr} adalah momen inersia penampang balok komposit penuh yang belum retak, mm⁴

ΣQ_n adalah jumlah kekuatan penghubung-penghubung geser di sepanjang daerah yang dibatasi oleh momen positif maksimum dan momen nol, N

Rasio $\Sigma Q_n/C_f$ untuk balok komposit parsial tidak boleh kurang dari 0,25. Batasan ini diberlakukan agar tidak terjadi slip yang berlebihan pada balok.

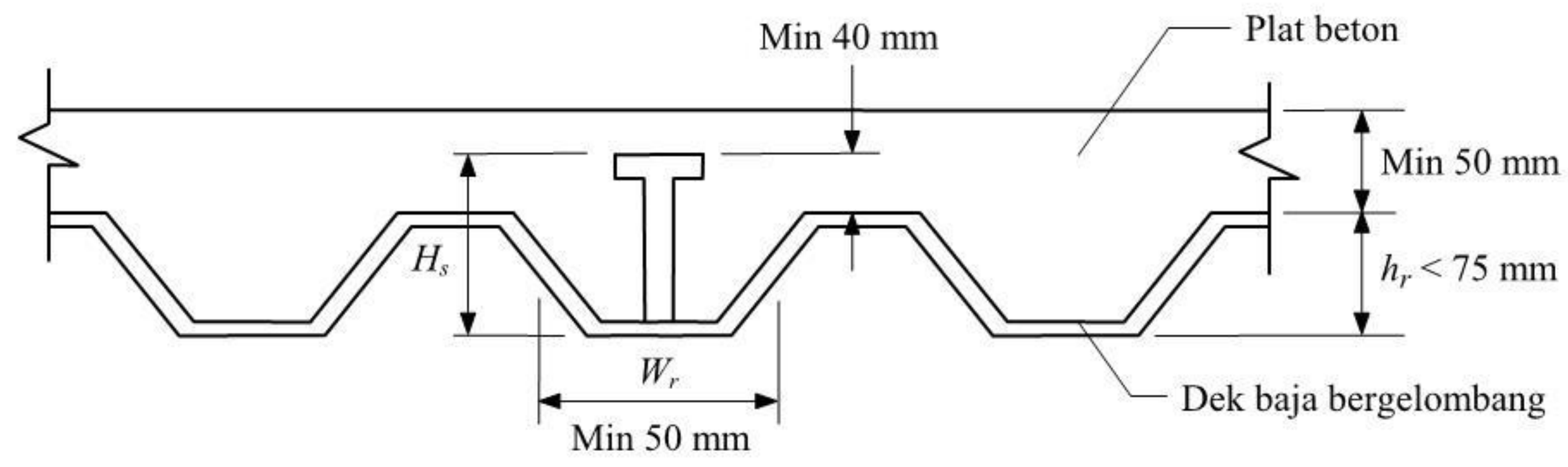
12.4.3 Kekuatan balok baja yang diberi selubung beton

Kuat lentur rencana balok baja yang diberi selubung beton $\phi_b M_n$, dihitung dengan mengambil $\phi_b = 0,90$ dan M_n yang nilainya ditentukan berdasarkan superposisi tegangan-tegangan elastis yang memperhitungkan pengaruh adanya tumpuan sementara (perancah).

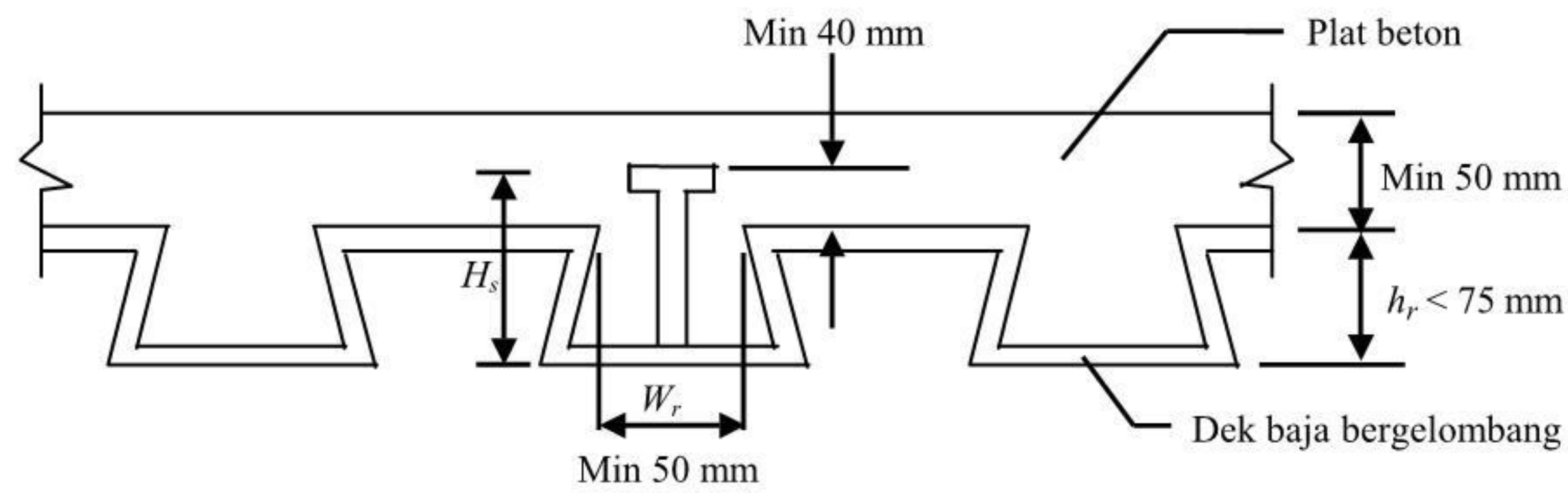
Sebagai alternatif, kuat lentur rencana $\phi_b M_n$, dapat dihitung dengan mengambil $\phi_b = 0,90$ dan M_n ditentukan berdasarkan distribusi tegangan plastis pada penampang baja saja.

12.4.4 Kekuatan struktur selama pelaksanaan

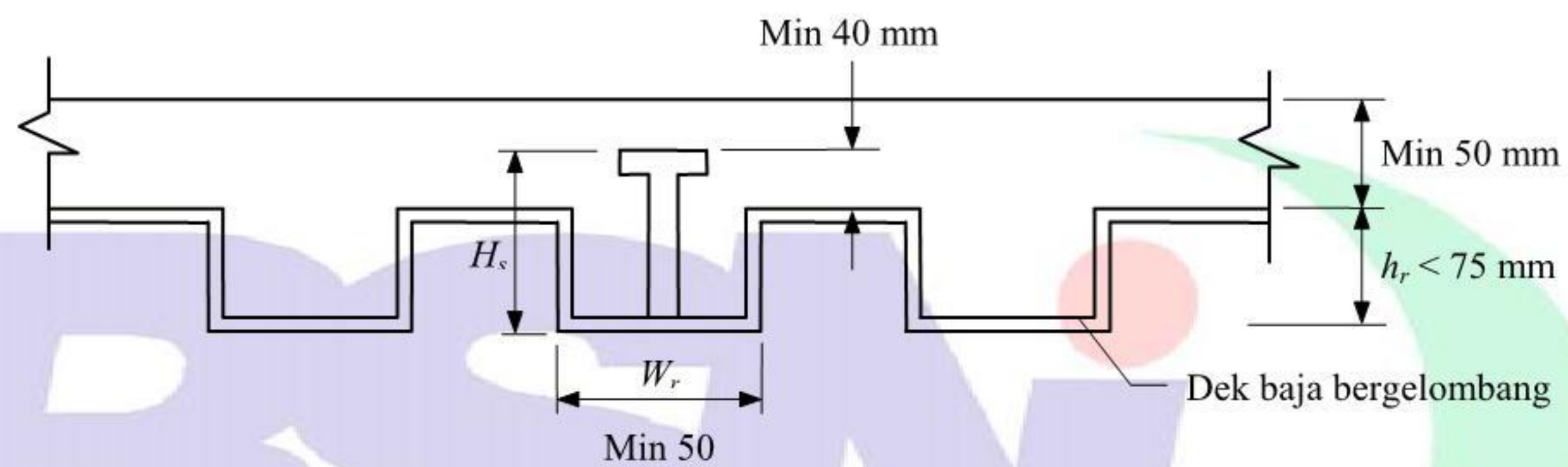
Jika tumpuan sementara (perancah) tidak digunakan dalam pelaksanaan, penampang baja harus memiliki kekuatan yang cukup untuk memikul semua pembebanan yang ada selama pelaksanaan sebelum beton mencapai 75% dari kuat tekannya (f_c'). Kuat lentur rencana penampang baja tersebut dapat dihitung berdasarkan ketentuan-ketentuan pada Butir 8.



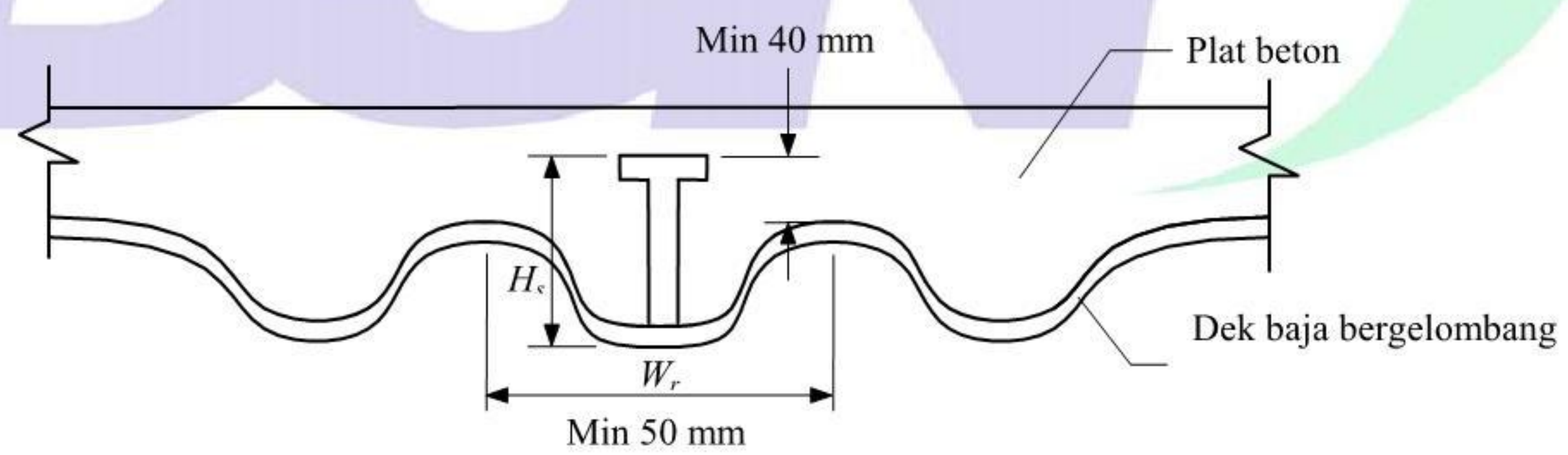
(a)



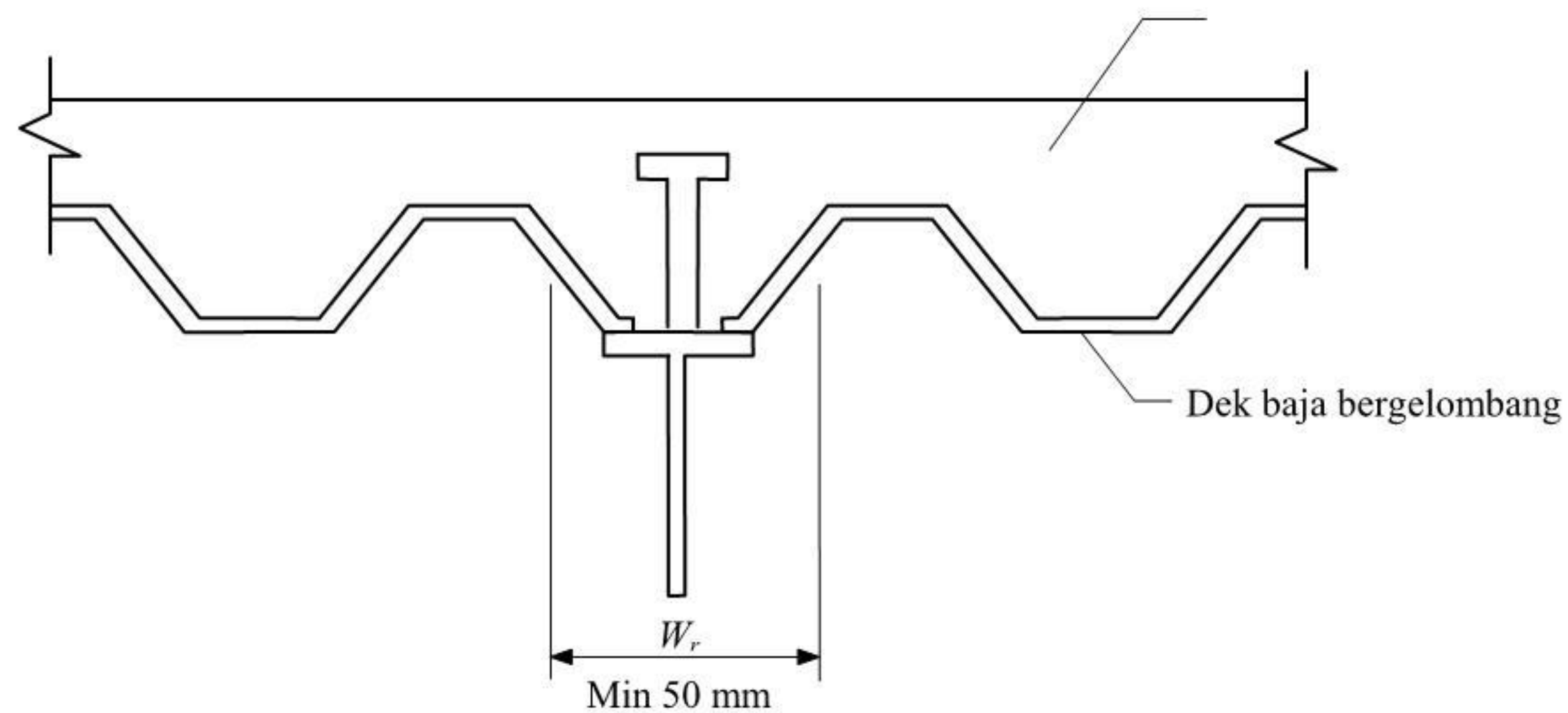
(b)



(c)



(d)



(e)

Gambar 12.4
Persyaratan untuk dek baja bergelombang.

12.4.5 Dek baja bergelombang

12.4.5.1 Umum

Kuat lentur rencana $\phi_b M_n$, dari suatu konstruksi komposit yang terdiri dari pelat beton yang diletakkan di atas dek baja bergelombang yang ditumpu pada balok baja dihitung dengan menggunakan prinsip-prinsip pada Butir 12.4.2 dengan memperhatikan catatan-catatan berikut.

- 1) Pasal ini hanya berlaku untuk dek baja yang mempunyai tinggi nominal gelombang tidak lebih dari 75 mm. Lebar rata-rata dari gelombang w_r , tidak boleh kurang dari 50 mm, dan tidak boleh lebih besar dari lebar bersih minimum pada tepi atas dek baja (lihat Gambar 12.4). Untuk batasan-batasan lainnya lihat Butir 12.4.5.3;
- 2) Pelat beton harus disatukan dengan balok baja melalui penghubung geser jenis paku yang dilas, yang mempunyai diameter tidak lebih dari 20 mm. Penghubung geser jenis paku dapat dilas pada dek baja atau langsung pada balok baja. Setelah terpasang, ketinggian penghubung geser jenis paku tidak boleh kurang dari 40 mm di atas sisi dek baja yang paling atas;
- 3) Ketebalan pelat beton di atas dek baja tidak boleh kurang dari 50 mm.

12.4.5.2 Gelombang dek yang arahnya tegak lurus terhadap balok baja penumpu

Untuk gelombang-gelombang dek yang arahnya tegak lurus terhadap balok baja penumpu, tebal beton yang berada di bawah tepi atas dek baja harus diabaikan dalam perhitungan karakteristik penampang komposit dan dalam penentuan luas penampang pelat beton A_c , yang diperlukan untuk perhitungan kapasitas gaya geser horizontal balok komposit (Butir 12.6)

Jarak antara penghubung-penghubung geser jenis paku sepanjang balok penumpu tidak boleh lebih dari 900 mm.

Kuat nominal penghubung geser jenis paku merupakan nilai yang dihitung berdasarkan Butir 12.6, yang dikalikan dengan suatu faktor reduksi, r_s , sebagai berikut:

$$r_s = \frac{0,85}{\sqrt{N_r}} \left(\frac{w_r}{h_r} \right) \left[\left(\frac{H_s}{h_r} \right) - 1,0 \right] \leq 1,0 \quad (12.4-2)$$

Keterangan:

- r_s adalah faktor reduksi
 N_r adalah jumlah penghubung geser jenis paku pada setiap gelombang pelat berprofil di perpotongannya dengan balok
 H_s adalah tinggi penghubung geser jenis paku $\leq (h_r + 75 \text{ mm})$
 h_r adalah tinggi nominal gelombang pelat baja berprofil
 w_r adalah lebar efektif gelombang pelat baja berprofil

Untuk menahan pengaruh ungkitan, dek baja harus diangker pada unsur-unsur penumpu dengan jarak antar angker tidak lebih dari 450 mm. Jenis angker yang boleh digunakan dapat berupa penghubung geser jenis paku, kombinasi penghubung geser jenis paku dengan las titik, atau jenis lainnya yang ditentukan oleh perencana.

- 12.4.5.3 Gelombang dek yang arahnya sejajar dengan balok baja penumpu
 Untuk gelombang dek yang arahnya sejajar dengan balok baja, tebal beton yang berada di bawah tepi atas dek baja dapat diperhitungkan dalam penentuan karakteristik penampang komposit dan juga dalam luas penampang pelat beton A_c , yang diperlukan untuk perhitungan kapasitas gaya geser horizontal balok komposit (Butir 12.6).

Gelombang-gelombang dek baja di atas balok penumpu dapat dipisahkan sepanjang arah longitudinal untuk membentuk voute beton pada tumpuannya (Gambar 12.4.e).

Jika tinggi nominal dek baja lebih besar atau sama dengan 40 mm maka lebar rata-rata dari gelombang yang ditumpu, w_r , tidak boleh kurang dari $50 \text{ mm} + 4(n_s - 1)d_s$ untuk penampang dengan jumlah penghubung geser jenis paku sama dengan n_s pada arah melintang; dengan d_s adalah diameter penghubung geser jenis paku tersebut.

Kuat nominal penghubung geser jenis paku ditentukan berdasarkan Butir 12.6. Jika rasio w_r/h_r kurang dari 1,5, maka nilai yang diberikan pada Butir 12.6 harus dikalikan dengan suatu faktor reduksi r_s , sebagai berikut:

$$r_s = 0,6 \left(\frac{w_r}{h_r} \right) \left[\left(\frac{H_s}{h_r} \right) - 1,0 \right] \leq 1,0 \quad (12.4-3)$$

12.4.6 Kuat geser rencana

Kuat geser rencana balok komposit, $\phi_s V_n$, ditentukan berdasarkan kuat geser pelat badan penampang baja yang perhitungannya dilakukan dengan mengacu pada ketentuan-ketentuan pada Butir 8.

12.5 Kombinasi tekan dan lentur

Interaksi beban aksial tekan dan lentur pada bidang simetris komponen struktur komposit ditentukan berdasarkan persamaan-persamaan berikut:

$$\begin{aligned} \text{a) untuk } \frac{N_u}{\phi_c N_n} &\geq 0,2 \\ \frac{N_u}{\phi_c N_n} + \frac{8}{9} \left(\frac{M_{ux}}{\phi_b M_{nx}} + \frac{M_{uy}}{\phi_b M_{ny}} \right) &\leq 1,0 \end{aligned} \quad (12.5-1)$$

$$\begin{aligned} \text{b) untuk } \frac{N_u}{\phi_c N_n} &< 0,2 \\ \frac{N_u}{2\phi_c N_n} + \left(\frac{M_{ux}}{\phi_b M_{nx}} + \frac{M_{uy}}{\phi_b M_{ny}} \right) &\leq 1,0 \end{aligned} \quad (12.5-2)$$

Keterangan:

M_{nx} adalah kuat lentur nominal terhadap sumbu- x
 M_{ny} adalah kuat lentur nominal terhadap sumbu- y
 M_{ux} adalah kuat lentur perlu terhadap sumbu- x
 M_{uy} adalah kuat lentur perlu terhadap sumbu- y
 N_n adalah kuat aksial nominal
 N_u adalah kuat aksial perlu

Nilai M_n pada persamaan-persamaan di atas dihitung berdasarkan distribusi tegangan plastis pada penampang komposit. Namun jika nilai $(N_u/\phi_c N_n)$ pada persamaan-persamaan di atas kurang dari 0,3 maka kuat lentur nominal M_n dapat ditentukan berdasarkan interpolasi linear antara nilai M_n yang dihitung berdasarkan distribusi tegangan plastis pada penampang komposit disaat $(N_u/\phi_c N_n) = 0,3$ dan nilai M_n pada saat $N_u = 0$ sebagaimana yang ditentukan berdasarkan Butir 12.4. Jika penghubung geser dibutuhkan pada saat $N_u = 0$ maka penghubung geser tersebut juga harus disediakan selama nilai $(N_u/\phi_c N_n)$ kurang dari 0,3.

12.6 Penghubung geser

Pasal ini berlaku untuk perencanaan penghubung geser jenis paku dan kanal. Untuk perencanaan penghubung geser jenis lainnya harus mengacu pada Butir 12.7.

12.6.1 Bahan

Penghubung geser dapat dari jenis paku baja berkepala dengan panjang dalam kondisi terpasang tidak kurang dari 4 kali diameternya atau berupa penampang baja kanal gilas. Penghubung geser jenis paku dan penghubung geser kanal harus mengikuti ketentuan-ketentuan yang berlaku. Massa jenis pelat beton yang digunakan pada struktur balok komposit dengan penghubung geser tidak boleh kurang dari 1.500 kg/m^3 .

12.6.2 Gaya geser horizontal

Kecuali untuk balok yang diberi selubung beton seperti yang didefinisikan pada Butir 12.2, seluruh gaya geser horizontal pada bidang kontak antara balok baja dan pelat beton harus disalurkan oleh penghubung-penghubung geser. Untuk aksi komposit di mana beton mengalami gaya tekan akibat lentur, gaya geser horizontal total yang bekerja pada daerah yang dibatasi oleh titik-titik momen positif maksimum dan momen nol yang berdekatan harus diambil sebagai nilai terkecil dari:

- 1) $0,85 f_c' A_c$,
- 2) $A_s f_y$,
- 3) $\sum Q_n$.

Untuk balok hibrida, gaya leleh harus dihitung secara terpisah untuk masing-masing komponen yang membentuk penampang hibrida tersebut. Nilai $A_s f_y$ untuk seluruh penampang merupakan jumlah dari gaya leleh yang terjadi pada masing-masing komponen.

Untuk balok komposit yang menerus di mana tulangan baja longitudinal pada daerah momen negatif dapat dianggap bekerja secara komposit dengan balok baja maka gaya geser horizontal total yang bekerja pada daerah yang dibatasi oleh titik-titik momen negatif maksimum dan momen nol yang berdekatan harus diambil sebagai nilai terkecil dari $A_s f_{yr}$ dan $\sum Q_n$.

12.6.3 Kekuatan penghubung geser jenis paku

Kuat nominal satu penghubung geser jenis paku yang ditanam di dalam pelat beton masif adalah:

$$Q_n = 0,5 A_{sc} \sqrt{f_c' E_c} \leq A_{sc} f_u \quad (12.6-1)$$

Keterangan:

A_{sc} adalah luas penampang penghubung geser jenis paku, mm²
 f_u adalah tegangan putus penghubung geser jenis paku, MPa
 Q_n adalah kuat nominal geser untuk penghubung geser, N

Untuk penghubung geser jenis paku yang ditanam di dalam pelat beton yang berada di atas dek baja bergelombang, suku $0,5A_{sc}\sqrt{f_c'E_c}$ di atas harus dikalikan dengan faktor reduksi r_s yang diberikan oleh persamaan 12.4-2 atau 12.4-3.

12.6.4 Kekuatan penghubung geser kanal

Kuat nominal satu penghubung geser kanal yang ditanam di dalam pelat beton masif adalah:

$$Q_n = 0,3(t_f + 0,5t_w)L_c\sqrt{f_c'E_c} \quad (12.6-2)$$

Keterangan:

L_c adalah panjang penghubung geser kanal, mm
 t_f adalah tebal pelat sayap, mm
 t_w adalah tebal pelat badan, mm

12.6.5 Jumlah penghubung geser yang diperlukan

Jumlah penghubung geser yang diperlukan pada daerah yang dibatasi oleh titik-titik momen lentur maksimum, positif atau negatif, dan momen nol yang berdekatan adalah sama dengan gaya geser horizontal total yang bekerja, sebagaimana yang ditentukan pada Butir 12.6.2, dibagi dengan kuat nominal satu penghubung geser, yang ditentukan berdasarkan Butir 12.6.3 atau 12.6.4, sesuai dengan jenis penghubung geser yang digunakan.

12.6.6 Penempatan dan jarak antar penghubung geser

Kecuali ditentukan lain, penghubung geser yang diperlukan pada daerah yang dibatasi oleh titik-titik momen lentur maksimum dan momen nol yang berdekatan harus didistribusikan secara merata pada daerah tersebut. Namun, jumlah penghubung geser yang diperlukan pada daerah yang dibatasi oleh lokasi beban terpusat dan momen nol yang terdekat harus sesuai jumlahnya dengan yang dibutuhkan untuk mengembangkan momen maksimum yang terjadi di lokasi beban terpusat tersebut.

Penghubung geser harus mempunyai selimut beton pada arah lateral setebal minimal 25 mm, kecuali untuk penghubung geser yang dipasang pada gelombang-gelombang dek baja bergelombang. Diameter penghubung geser jenis paku tidak boleh lebih besar dari 2,5 kali ketebalan pelat sayap penampang di mana penghubung geser jenis paku tersebut dilaskan, kecuali yang terletak di atas pelat badan penampang. Jarak minimum antara penghubung-penghubung geser tidak boleh kurang dari 6 kali diameter di sepanjang sumbu longitudinal balok penumpu dan tidak boleh kurang dari 4 kali diameter di sepanjang sumbu tegak lurus terhadap sumbu longitudinal balok penumpu. Untuk daerah di antara gelombang-gelombang dek baja bergelombang, jarak minimum antar penghubung-penghubung geser tersebut dapat diperkecil menjadi 4 kali diameter ke semua arah. Jarak maksimum antara penghubung geser tidak boleh melebihi 8 kali ketebalan pelat total. Persyaratan lainnya dapat dilihat pada Butir 12.4.5.2.

12.7 Kasus khusus

Jika suatu jenis konstruksi komposit tidak dapat dikategorikan dalam salah satu ketentuan-ketentuan yang diuraikan pada Butir 12.1 sampai dengan 12.6, maka kekuatan penghubung geser dan rincian pelaksanaan untuk jenis struktur komposit tersebut harus didapat melalui suatu bentuk pengujian laboratorium yang dilakukan oleh badan yang berwenang.

13. SAMBUNGAN

13.1 Umum

13.1.1 Penjelasan

Sambungan terdiri dari komponen sambungan (pelat pengisi, pelat buhul, pelat pendukung, dan pelat penyambung) dan alat pengencang (baut dan las).

Sambungan tipe tumpu adalah sambungan yang dibuat dengan menggunakan baut yang dikencangkan dengan tangan, atau baut mutu tinggi yang dikencangkan untuk menimbulkan gaya tarik minimum yang disyaratkan, yang kuat rencananya disalurkan oleh gaya geser pada baut dan tumpuan pada bagian-bagian yang disambungkan.

Sambungan tipe friksi adalah sambungan yang dibuat dengan menggunakan baut mutu tinggi yang dikencangkan untuk menimbulkan tarikan baut minimum yang disyaratkan sedemikian rupa sehingga gaya-gaya geser rencana disalurkan melalui jepitan yang bekerja dalam bidang kontak dan gesekan yang ditimbulkan antara bidang-bidang kontak.

Pengencangan penuh adalah cara pemasangan dan pengencangan baut yang sesuai dengan ketentuan-ketentuan Butir 18.2.4 dan 18.2.5.

Pembebanan dalam bidang adalah pembebanan yang gaya dan momen lentur rencananya berada dalam bidang sambungan sedemikian rupa sehingga gaya yang ditimbulkan dalam komponen sambungan hanya gaya geser.

Pengencang tanpa slip adalah pengencang yang tidak memungkinkan terjadinya slip antara pelat atau unsur yang dihubungkan, sedemikian rupa sehingga kedudukan relatifnya tidak berubah. Pengencang tanpa slip dapat berupa sambungan tipe friksi dari baut mutu tinggi atau las.

Pembebanan tidak sebidang adalah pembebanan yang gaya atau momen lentur rencananya menghasilkan gaya yang arahnya tegak lurus bidang sambungan.

Gaya unkit adalah gaya tarik tambahan yang timbul akibat melenturnya suatu komponen pada sambungan yang memikul gaya tarik sehingga terjadi gaya unkit di ujung komponen yang melentur. Kencang tangan adalah kekencangan baut yang diperoleh dengan kekuatan penuh seseorang yang menggunakan alat pengencang standar atau dengan beberapa pukulan alat pengencang impak.

13.1.2 Klasifikasi sambungan

13.1.2.1 Sambungan kaku

Sambungan harus memenuhi Butir 7.2.1. Deformasi titik kumpul harus sedemikian rupa sehingga tidak terlalu berpengaruh terhadap distribusi gaya maupun terhadap deformasi keseluruhan struktur.

13.1.2.2 Sambungan semi kaku

Sambungan harus memenuhi Butir 7.2.2. Pada sambungan semi kaku, perhitungan kekakuan, penyebaran gaya, dan deformasinya harus menggunakan analisis mekanika yang hasilnya didukung oleh percobaan eksperimental.

13.1.2.3 Sambungan sendi

Sambungan harus memenuhi Butir 7.2.3. Sambungan sendi harus dapat berubah bentuk agar memberikan rotasi yang diperlukan pada sambungan. Sambungan tidak boleh mengakibatkan momen lentur terhadap komponen struktur yang disambung. Detail sambungan harus mempunyai kemampuan rotasi yang cukup. Sambungan harus dapat memikul gaya reaksi yang bekerja pada eksentrisitas yang sesuai dengan detail sambungannya.

13.1.3 Perencanaan sambungan

Kuat rencana setiap komponen sambungan tidak boleh kurang dari beban terfaktor yang dihitung. Perencanaan sambungan harus memenuhi persyaratan berikut:

- a) Gaya-dalam yang disalurkan berada dalam keseimbangan dengan gaya-gaya yang bekerja pada sambungan;
- b) Deformasi pada sambungan masih berada dalam batas kemampuan deformasi sambungan;
- c) Sambungan dan komponen yang berdekatan harus mampu memikul gaya-gaya yang bekerja padanya.

13.1.4 Kuat rencana minimum sambungan

Sambungan struktural (tidak termasuk di dalamnya sambungan tralis dan wartel mur, gording, dan spalk) harus direncanakan agar sedikitnya dapat menerima gaya sebesar:

- a) gaya-gaya yang berasal dari komponen struktur, dan

- b) gaya minimum yang dinyatakan dalam nilai atau fraksi kuat rencana komponen struktur dengan nilai minimum yang diuraikan di bawah ini:
- (i) Sambungan kaku: momen lentur sebesar 0,5 kali momen lentur rencana komponen struktur;
 - (ii) Sambungan sendi pada balok sederhana: gaya geser sebesar 40 kN;
 - (iii) Sambungan pada ujung komponen struktur tarik atau tekan: suatu gaya sebesar 0,3 kali kuat rencana komponen struktur, kecuali pada batang berulir dengan wartel mur yang bekerja sebagai batang pengikat, gaya tarik minimum harus sama dengan kuat rencana batang;
 - (iv) Sambungan lewatan komponen struktur tarik: suatu gaya sebesar 0,3 kali kuat rencana komponen struktur tarik;
 - (v) Sambungan lewatan komponen struktur tekan: jika ujungnya dirancang untuk kontak penuh sesuai dengan Butir 17.4.3.2 maka gaya tekan boleh dipikul melalui tumpuan pada bidang kontak dan jumlah alat pengencang harus cukup untuk memikul semua bagian di tempatnya dan harus cukup untuk menyalurkan gaya sebesar 0,15 kali kuat rencana komponen struktur tekan. Selain itu, sambungan yang berada di antara pengekang lateral harus direncanakan untuk memikul gaya aksial terfaktor, N_u , ditambah momen lentur terfaktor, M_u , yang tidak kurang dari:

$$M_u = \frac{\delta N_u L_s}{1000} \quad (13.1-1)$$

Keterangan:

δ adalah faktor amplifikasi δ_b atau δ_s yang ditetapkan sesuai dengan Butir 7.4

L_s adalah jarak antara titik pengekang lateral efektif

Bila komponen struktur tersebut tidak dipersiapkan untuk kontak penuh, penyambung dan pengencangnya harus dirancang untuk memikul semua komponennya tetap lurus dan harus direncanakan untuk menyalurkan gaya sebesar 0,3 kali kuat rencana komponen struktur tekan.

- (vi) Sambungan lewatan balok: suatu momen lentur sebesar 0,3 kali kuat rencana balok, kecuali pada sambungan yang direncanakan untuk menyalurkan gaya geser saja. Sambungan yang memikul gaya geser saja harus direncanakan untuk menyalurkan gaya geser dan momen lentur yang ditimbulkan oleh eksentrisitas gaya terhadap titik berat kelompok alat pengencang;

- (vii) Sambungan lewatan komponen struktur yang memikul gaya kombinasi: sambungan komponen struktur yang memikul kombinasi antara gaya tarik atau tekan aksial dan momen lentur harus memenuhi (iv), (v) dan (vi) sekaligus.

13.1.5 Pertemuan

Komponen struktur yang menyalurkan gaya-gaya pada sambungan, sumbu netralnya harus direncanakan untuk bertemu pada suatu titik. Bila terdapat eksentrisitas pada sambungan, komponen struktur dan sambungannya harus dapat memikul momen yang diakibatkannya.

13.1.6 Pemilihan alat pengencang

Bila sambungan memikul kejutan, getaran, atau tidak boleh slip maka harus digunakan sambungan tipe friksi dengan baut mutu tinggi atau las.

13.1.7 Sambungan kombinasi

Bila digunakan pengencang tanpa slip (baut mutu tinggi dalam sambungan tipe friksi atau las) bersama dengan pengencang jenis slip (seperti baut kencang tangan, atau baut mutu tinggi dalam sambungan tipe tumpu) dalam suatu sambungan, semua beban terfaktor harus dianggap dipikul oleh pengencang tanpa slip. Bila digunakan kombinasi pengencang tanpa slip, beban terfaktor dapat dianggap dipikul bersama. Akan tetapi apabila digunakan pengelasan dalam sambungan bersama-sama dengan pengencang tanpa slip lainnya maka:

- a) setiap gaya yang mula-mula bekerja langsung pada las tidak boleh dianggap turut dipikul oleh pengencang yang ditambahkan setelah bekerjanya gaya tersebut; dan
- b) setiap gaya yang bekerja setelah pengelasan harus dianggap dipikul oleh las.

13.1.8 Gaya ungkit

Baut yang direncanakan untuk memikul gaya tarik terfaktor harus dapat memikul setiap gaya tarik tambahan akibat gaya ungkit yang terjadi akibat komponen yang melenting.

13.1.9 Komponen sambungan

Komponen sambungan (antara lain pelat pengisi, pelat buhul, pelat pendukung), kecuali alat pengencang, kekuatannya harus diperhitungkan sesuai dengan persyaratan pada Butir 8, 9, 10, dan 11.

13.1.10 Pengurangan luas akibat baut

13.1.10.1 Luas lubang

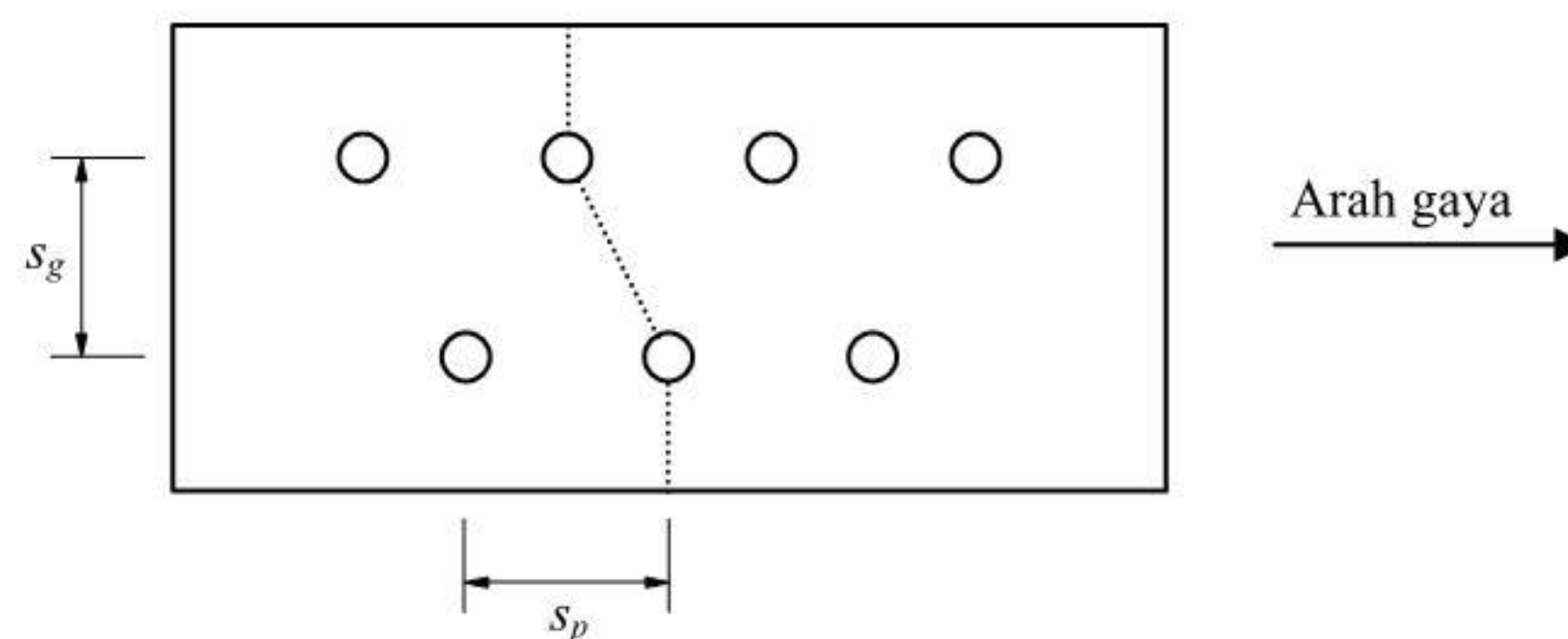
Luas lubang yang digunakan adalah luas penuh.

13.1.10.2 Lubang tidak selang-seling

Pada lubang yang tidak diselang-seling, luas pengurangnya adalah jumlah maksimum luas lubang dalam irisan penampang tegak lurus terhadap arah gaya yang bekerja pada unsur struktur.

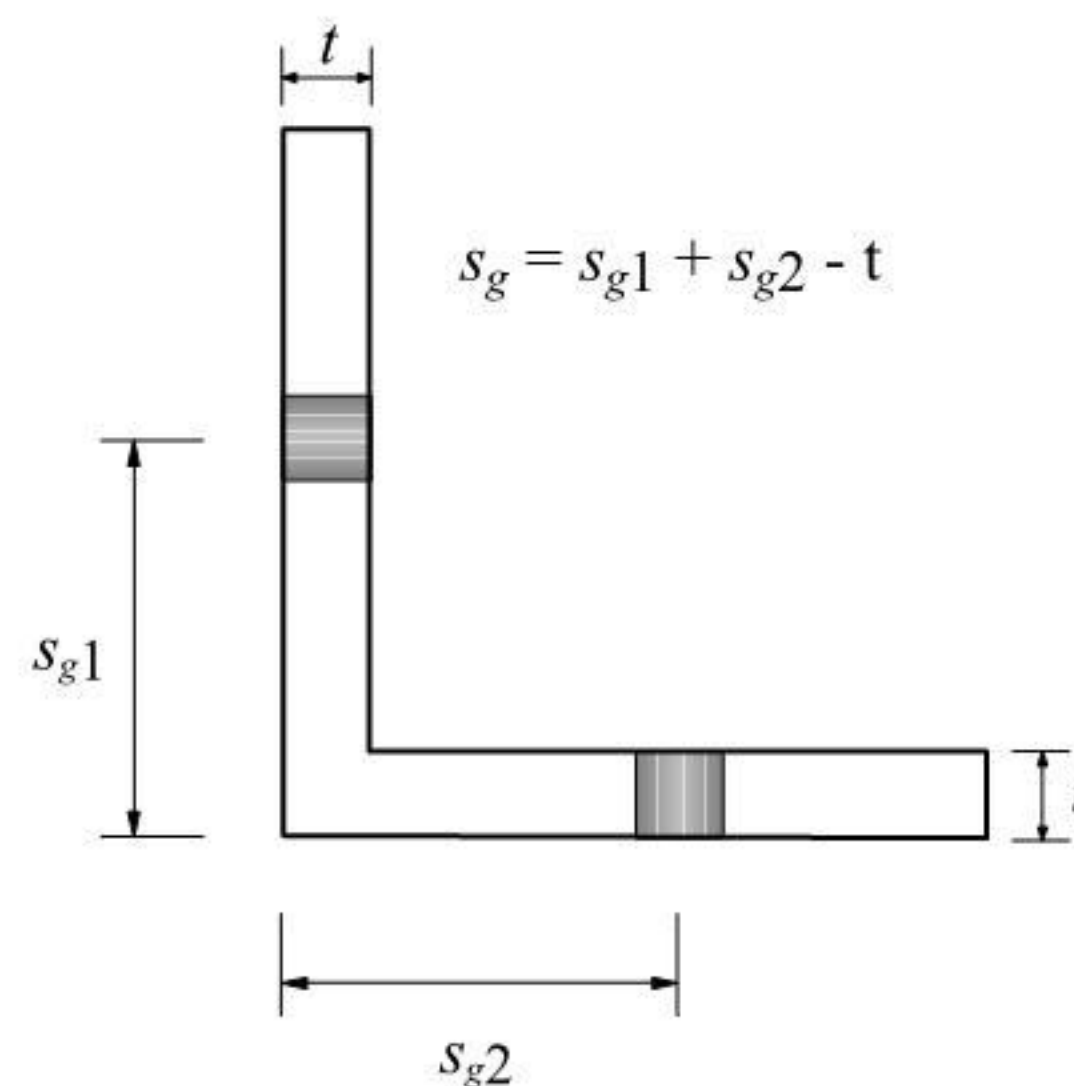
13.1.10.3 Lubang selang-seling

Bila lubang dibuat selang-seling, luas yang dikurangkan setidaknya harus sama dengan jumlah luas lubang dalam irisan zig-zag yang dibuat dikurangi $s_p^2 t / 4s_g$ untuk setiap spasi antara dua lubang yang terpotong irisan tersebut, dengan t adalah tebal pelat yang dilubangi serta s_p dan s_g dapat dilihat pada Gambar 13.1-1. Jika didapatkan beberapa kemungkinan irisan penampang (termasuk irisan lubang tidak selang-seling) maka harus dipilih irisan penampang yang menghasilkan pengurangan luas yang maksimum.



Gambar 13.1-1
Lubang selang-seling.

Untuk penampang seperti siku dengan lubang dalam kedua kaki, s_g diambil sebagai jumlah jarak tepi ke tiap lubang, dikurangi tebal kaki (lihat Gambar 13.1-2).



Gambar 13.1-2
Siku dengan lubang pada kedua kaki.

13.1.11 Sambungan pada profil berongga

Pada profil berongga pengaruh tegangan di sekitar sambungan harus diperhitungkan.

13.2 Perencanaan baut

13.2.1 Jenis baut

Jenis baut yang dapat digunakan pada ketentuan-ketentuan Butir 13.2 dan 13.3 adalah baut yang jenisnya ditentukan dalam SII (0589-81, 0647-91 dan 0780-83, SII 0781-83) atau SNI (0541-89-A, 0571-89-A, dan 0661-89-A) yang sesuai, atau penggantinya.

13.2.2 Kekuatan baut

Suatu baut yang memikul gaya terfaktor, R_u , harus memenuhi

$$R_u \leq \phi R_n \quad (13.2-1)$$

Keterangan:

ϕ adalah faktor reduksi kekuatan
 R_n adalah kuat nominal baut

13.2.2.1 Baut dalam geser

Kuat geser rencana dari satu baut dihitung sebagai berikut:

$$V_d = \phi_f V_n = \phi_f r_1 f_u^b A_b \quad (13.2-2)$$

Keterangan:

$r_1=0,5$ untuk baut tanpa ulir pada bidang geser

$r_1=0,4$ untuk baut dengan ulir pada bidang geser

$\phi_f=0,75$ adalah faktor reduksi kekuatan untuk fraktur

f_u^b adalah tegangan tarik putus baut

A_b adalah luas bruto penampang baut pada daerah tak berulir

Kuat geser nominal baut yang mempunyai beberapa bidang geser (bidang geser majemuk) adalah jumlah kekuatan masing-masing yang dihitung untuk setiap bidang geser.

13.2.2.2 Baut yang memikul gaya tarik

Kuat tarik rencana satu baut dihitung sebagai berikut:

$$T_d = \phi_f T_n = \phi_f 0,75 f_u^b A_b \quad (13.2-3)$$

Keterangan:

$\phi_f=0,75$ adalah faktor reduksi kekuatan untuk fraktur

f_u^b adalah tegangan tarik putus baut

A_b adalah luas bruto penampang baut pada daerah tak berulir

13.2.2.3 Baut pada sambungan tipe tumpu yang memikul kombinasi geser dan tarik

Baut yang memikul gaya geser terfaktor, V_u , dan gaya tarik terfaktor, T_u , secara bersamaan harus memenuhi kedua persyaratan berikut ini:

$$f_{uv} = \frac{V_u}{nA_b} \leq r_1 \phi_f f_u^b m \quad (13.2-4)$$

$$T_d = \phi_f T_n = \phi_f f_t A_b \geq \frac{T_u}{n} \quad (13.2-5)$$

$$f_t \leq f_1 - r_2 f_{uv} \leq f_2 \quad (13.2-6)$$

Keterangan:

$\phi_f=0,75$ adalah faktor reduksi kekuatan untuk fraktur

n adalah jumlah baut
 m adalah jumlah bidang geser
 untuk baut mutu tinggi:

$f_1 = 807 \text{ MPa}$, $f_2 = 621 \text{ MPa}$,
 $r_2 = 1,9$ untuk baut dengan ulir pada bidang geser,
 $r_2 = 1,5$ untuk baut tanpa ulir pada bidang geser,

untuk baut mutu normal:

$f_1 = 410 \text{ MPa}$, $f_2 = 310 \text{ MPa}$,
 $r_2 = 1,9$.

13.2.2.4 Kuat tumpu

Kuat tumpu rencana bergantung pada yang terlemah dari baut atau komponen pelat yang disambung. Apabila jarak lubang tepi terdekat dengan sisi pelat dalam arah kerja gaya lebih besar daripada 1,5 kali diameter lubang, jarak antar lubang lebih besar daripada 3 kali diameter lubang, dan ada lebih dari satu baut dalam arah kerja gaya, maka kuat rencana tumpu dapat dihitung sebagai berikut,

$$R_d = \phi_f R_n = 2,4 \phi_f d_b t_p f_u \quad (13.2-7)$$

Kuat tumpu yang didapat dari perhitungan di atas berlaku untuk semua jenis lubang baut. Sedangkan untuk lubang baut selot panjang tegak lurus arah kerja gaya berlaku persamaan berikut ini,

$$R_d = \phi_f R_n = 2,0 \phi_f d_b t_p f_u \quad (13.2-8)$$

Keterangan:

$\phi_f = 0,75$ adalah faktor reduksi kekuatan untuk fraktur

d_b adalah diameter baut nominal pada daerah tak berulir

t_p adalah tebal pelat

f_u adalah tegangan tarik putus yang terendah dari baut atau pelat

13.2.2.5 Pelat pengisi

Pada sambungan-sambungan yang tebal pelat pengisinya antara 6 mm sampai dengan 20 mm, kuat geser nominal satu baut yang ditetapkan pada Butir 13.2.2.1 harus dikurangi dengan 15 persen. Pada sambungan-sambungan dengan bidang geser majemuk yang lebih dari satu pelat pengisinya dilalui oleh satu baut, reduksinya

juga harus dihitung menggunakan ketebalan pelat pengisi yang terbesar pada bidang geser yang dilalui oleh baut tersebut.

13.2.3 Sambungan tanpa slip

13.2.3.1 Perencanaan

Pada sambungan tipe friksi yang menggunakan baut mutu tinggi yang slipnya dibatasi, satu baut yang hanya memikul gaya geser terfaktor, V_u , dalam bidang permukaan friksi harus memenuhi:

$$V_u \leq V_d (= \phi V_n)$$

Kuat rencana, $V_d = \phi V_n$, adalah kuat geser satu baut dalam sambungan tipe friksi yang ditentukan sebagai berikut:

$$V_d = \phi V_n = 1,13 \phi \mu m T_b \quad (13.2-9)$$

Keterangan:

μ adalah koefisien gesek yang ditentukan pada Butir 13.2.3.2

m adalah jumlah bidang geser

T_b adalah gaya tarik baut minimum pada pemasangan seperti yang disyaratkan pada Butir 18.2.5.2

$\phi = 1,0$ untuk lubang standar

$\phi = 0,85$ untuk lubang selot pendek dan lubang besar

$\phi = 0,70$ untuk lubang selot panjang tegak lurus arah kerja gaya

$\phi = 0,60$ untuk lubang selot panjang sejajar arah kerja gaya

13.2.3.2 Bidang-bidang kontak

Bila bidang-bidang kontak dalam keadaan bersih, koefisien gesek, μ , harus diambil sebesar 0,35. Bila permukaannya diratakan, atau keadaan permukaan lainnya termasuk permukaan yang diolah oleh mesin, koefisien geseknya harus ditentukan berdasar hasil percobaan yang sesuai dengan ketentuan yang berlaku. Sambungan yang menggunakan baut mutu tinggi harus diidentifikasi dan gambarnya harus menunjukkan dengan jelas perlakuan permukaan yang diperlukan pada sambungan tersebut apakah permukaan tersebut perlu dilindungi saat pengecatan atau tidak.

13.2.3.3 Kombinasi geser dan tarik pada sambungan tipe friksi

Baut pada sambungan yang slipnya dibatasi dan memikul gaya tarik terfaktor, T_u , harus memenuhi ketentuan pada Butir 13.2.3.1 dengan kuat rencana slip $V_d = \phi V_n$ direduksi dengan faktor

$$\left[1 - \frac{T_u}{1,13T_b} \right] \quad (13.2-10)$$

13.3 Kelompok baut

13.3.1 Kelompok baut yang memikul pembebanan sebidang

Kuat rencana kelompok baut harus ditentukan dengan analisis berdasarkan anggapan berikut:

- Pelat penyambung harus dianggap kaku dan berputar terhadap suatu titik yang dianggap sebagai pusat sesaat kelompok baut;
- Dalam hal kelompok baut yang memikul momen murni (kopel), pusat sesaat perputaran sama dengan titik berat kelompok baut. Jika kelompok baut memikul gaya geser sebidang yang bekerja pada titik berat kelompok baut, pusat sesaat untuk perputaran berada di tak-hingga dan gaya geser rencana terbagi rata pada kelompok baut. Untuk kasus lainnya, harus digunakan cara perhitungan yang standar;
- Gaya geser rencana pada setiap baut harus dianggap bekerja tegak lurus pada garis yang menghubungkan baut ke pusat sesaat, dan harus diambil berbanding lurus dengan jarak antara baut dan pusat sesaat. Tiap baut harus memenuhi ketentuan Butir 13.2.2.1 dan Butir 13.2.2.4, atau Butir 13.2.3.1.

13.3.2 Kelompok baut yang memikul pembebanan tidak sebidang

Beban pada setiap baut dalam kelompok baut yang memikul pembebanan tidak sebidang ditetapkan sesuai dengan Butir 13.1.3. Tiap baut harus memenuhi Butir 13.2.2.1, 13.2.2.2, 13.2.2.3, dan 13.2.2.4, atau Butir 13.2.3.1 dan 13.2.3.3.

13.3.3 Kelompok baut yang menerima beban kombinasi sebidang dan tidak sebidang

Kuat rencana baut pada suatu kelompok baut ditentukan sesuai dengan Butir 13.3.1 dan 13.3.2. Setiap baut harus memenuhi Butir 13.2.2.1, 13.2.2.2, 13.2.2.3, dan 13.2.2.4, atau Butir 13.2.3.1 dan 13.2.3.3.

13.4 Tata letak baut

13.4.1 Jarak

Jarak antar pusat lubang pengencang tidak boleh kurang dari 3 kali diameter nominal pengencang. Jarak minimum pada pelat harus memenuhi juga ketentuan Butir 13.2.2.4.

13.4.2 Jarak tepi minimum

Jarak minimum dari pusat pengencang ke tepi pelat atau pelat sayap profil harus memenuhi spesifikasi dalam Tabel 13.4-1.

Tabel 13.4-1 Jarak tepi minimum.

| Tepi dipotong dengan tangan | Tepi dipotong dengan mesin | Tepi profil bukan hasil potongan |
|-----------------------------|----------------------------|----------------------------------|
| $1,75 d_b$ | $1,50 d_b$ | $1,25 d_b$ |

Dengan d_b adalah diameter nominal baut pada daerah tak berulir. Jarak tepi pelat harus memenuhi juga ketentuan Butir 13.2.2.4.

13.4.3 Jarak maksimum

Jarak antara pusat pengencang tidak boleh melebihi $15 t_p$ (dengan t_p adalah tebal pelat lapis tertipis didalam sambungan), atau 200 mm. Pada pengencang yang tidak perlu memikul beban terfaktor dalam daerah yang tidak mudah berkarat, jaraknya tidak boleh melebihi $32 t_p$ atau 300 mm. Pada baris luar pengencang dalam arah gaya rencana, jaraknya tidak boleh melebihi $(4 t_p + 100 \text{ mm})$ atau 200 mm.

13.4.4 Jarak tepi maksimum

Jarak dari pusat tiap pengencang ke tepi terdekat suatu bagian yang berhubungan dengan tepi yang lain tidak boleh lebih dari 12 kali tebal pelat lapis luar tertipis dalam sambungan dan juga tidak boleh melebihi 150 mm.

13.4.5 Lubang

Lubang baut harus memenuhi Butir 17.3.5.

13.5 Las

13.5.1 Lingkup

13.5.1.1 Umum

Pengelasan harus memenuhi standar SII yang berlaku (2441-89, 2442-89, 2443-89, 2444-89, 2445-89, 2446-89, dan 2447-89), atau penggantinya.

13.5.1.2 Jenis las

Jenis las yang ditentukan dalam peraturan ini adalah las tumpul, sudut, pengisi, atau tersusun.

13.5.1.3 Mutu las

Mutu las harus memenuhi ketentuan yang disebut dalam Butir 13.5.1.1.

13.5.2 Las tumpul penetrasi penuh dan sebagian

13.5.2.1 Penjelasan

Las Tumpul Penetrasi Penuh: las tumpul di mana terdapat penyatuan antara las dan bahan induk sepanjang kedalaman penuh sambungan.

Las Tumpul Penetrasi Sebagian: las tumpul di mana kedalaman penetrasi lebih kecil daripada kedalaman penuh sambungan.

13.5.2.2 Ukuran las

Ukuran las adalah jarak antara permukaan luar las (tidak termasuk perkuatannya) terhadap kedalaman penetrasinya yang terkecil. Khusus sambungan antara dua bagian yang membentuk T atau siku, ukuran las penetrasi penuh adalah tebal bagian yang menumpu.

13.5.2.3 Tebal rencana las

Tebal rencana las ditetapkan sebagai berikut:

- a) Las Tumpul Penetrasi Penuh: tebal rencana las untuk las tumpul penetrasi penuh adalah ukuran las;

b) Las Tumpul Penetrasi Sebagian: tebal rencana las untuk las tumpul penetrasi sebagian ditetapkan sesuai dengan ketentuan dibawah ini:

(i) Sudut antara bagian yang disambung $\leq 60^\circ$

Satu sisi: $t_t = (d - 3)$ mm

Dua sisi: $t_t = (d_3 + d_4 - 6)$ mm

(ii) Sudut antara bagian yang disambung $> 60^\circ$

Satu sisi: $t_t = d$ mm

Dua sisi: $t_t = (d_3 + d_4)$ mm

dengan d adalah kedalaman yang dipersiapkan untuk las (d_3 dan d_4 adalah nilai untuk tiap sisi las).

13.5.2.4 Panjang efektif

Panjang efektif las tumpul adalah panjang las ukuran penuh yang menerus.

13.5.2.5 Luas efektif

Luas efektif las tumpul adalah perkalian panjang efektif dengan tebal rencana las.

13.5.2.6 Peralihan tebal atau lebar

Sambungan las tumpul antara bagian yang tebalnya berbeda atau lebarnya tidak sama yang memikul gaya tarik harus mempunyai peralihan halus antara permukaan dan ujung. Peralihan harus dibuat dengan melandaikan bagian yang lebih tebal atau dengan melandaikan permukaan las atau dengan kombinasi dari keduanya, seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 13.5-1. Kelandaian peralihan antara bagian-bagian tidak boleh lebih tajam dari 1:1.

13.5.2.7 Kekuatan las tumpul penetrasi penuh

Kuat las tumpul penetrasi penuh ditetapkan sebagai berikut:

(i) Bila sambungan dibebani dengan gaya tarik atau gaya tekan aksial terhadap luas efektif maka,

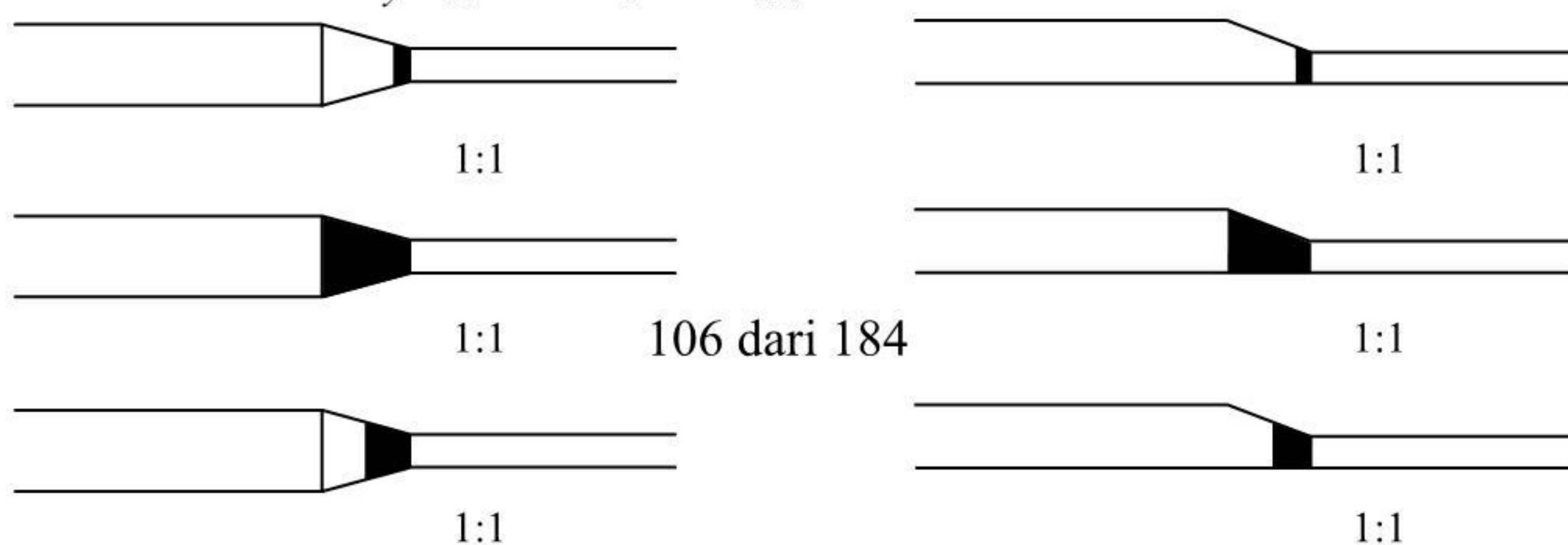
$$\phi_y R_{nw} = 0,9 t_t f_y \text{ (bahan dasar)} \quad (13.5-1a)$$

$$\phi_y R_{nw} = 0,9 t_t f_{yw} \text{ (las)} \quad (13.5-1b)$$

(ii) Bila sambungan dibebani dengan gaya geser terhadap luas efektif maka,

$$\phi_y R_{nw} = 0,9 t_t (0,6 f_y) \text{ (bahan dasar)} \quad (13.5-2a)$$

$$\phi_y R_{nw} = 0,8 t_t (0,6 f_{uw}) \text{ (las)} \quad (13.5-2b)$$



Gambar 13.5-1

Transisi ketebalan las tumpul yang memikul gaya tarik.

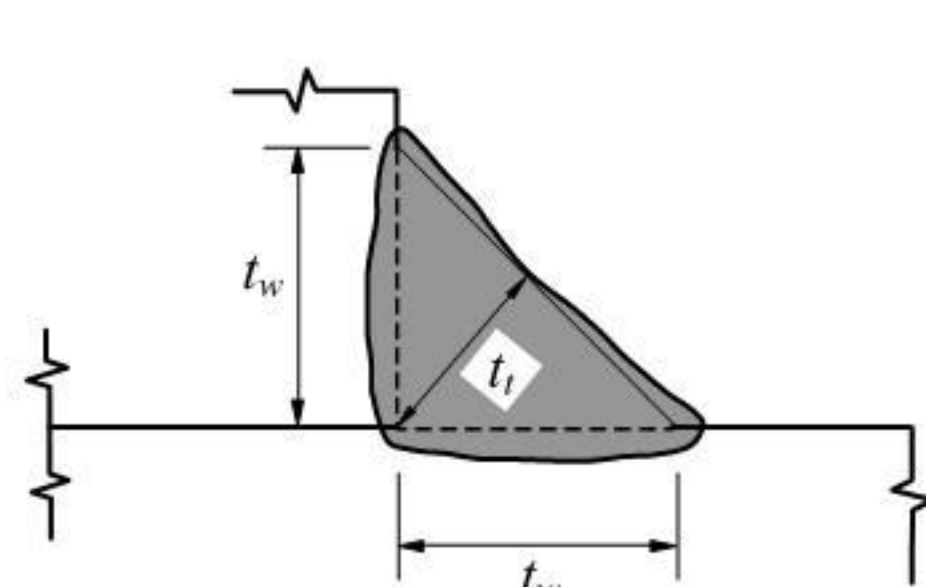
Keterangan:

 $\phi_y = 0,9$ adalah faktor reduksi kekuatan saat leleh, f_y, f_u adalah tegangan leleh dan tegangan tarik putus.**13.5.3 Las sudut****13.5.3.1 Ukuran las sudut**

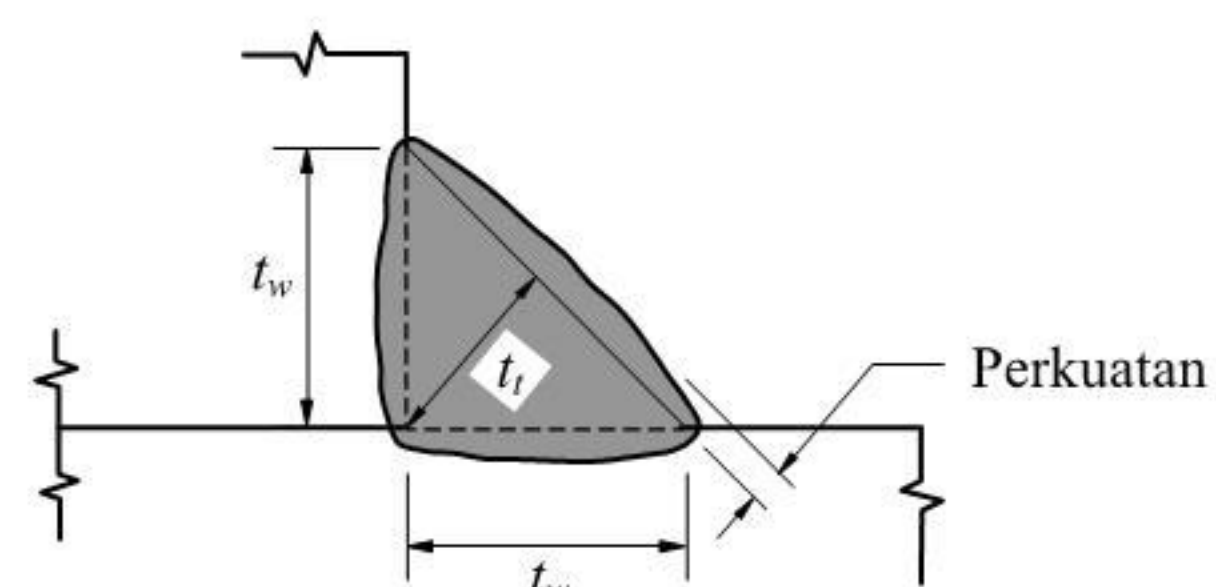
Ukuran las sudut ditentukan oleh panjang kaki. Panjang kaki harus ditentukan sebagai panjang t_{w1} , t_{w2} , dari sisi yang terletak sepanjang kaki segitiga yang terbentuk dalam penampang melintang las (lihat Gambar 13.5-2). Bila kakinya sama panjang, ukurannya adalah t_w . Bila terdapat sela akar, ukuran t_w diberikan oleh panjang kaki segitiga yang terbentuk dengan mengurangi sela akar seperti ditunjukkan dalam Gambar 13.5-2.

13.5.3.2 Ukuran minimum las sudut

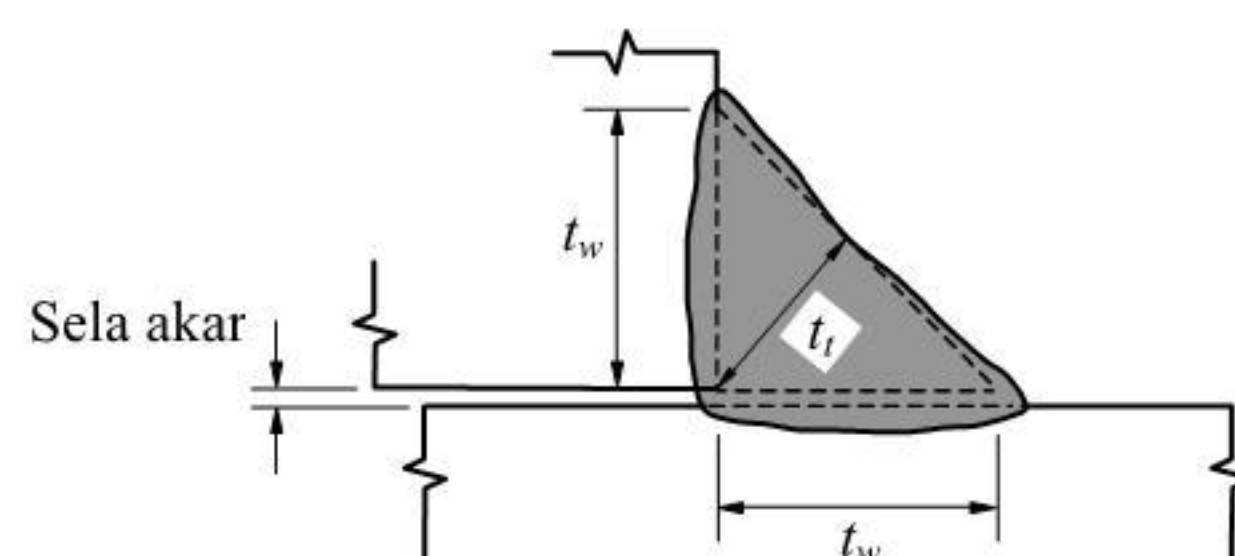
Ukuran minimum las sudut, selain dari las sudut yang digunakan untuk memperkuat las tumpul, ditetapkan sesuai dengan Tabel 13.5-1 kecuali bila ukuran las tidak boleh melebihi tebal bagian yang tertipis dalam sambungan.



Las sudut konkaf



Las sudut konveks



Las sudut sela akar

Gambar 13.5-2
Ukuran las sudut.

Tabel 13.5-1 Ukuran minimum las sudut.

| Tebal bagian paling tebal, t [mm] | Tebal minimum las sudut, t_w [mm] |
|-------------------------------------|-------------------------------------|
| $t \leq 7$ | 3 |
| $7 < t \leq 10$ | 4 |
| $10 < t \leq 15$ | 5 |
| $15 < t$ | 6 |

13.5.3.3 Ukuran maksimum las sudut sepanjang tepi

Ukuran maksimum las sudut sepanjang tepi komponen yang disambung adalah:

- Untuk komponen dengan tebal kurang dari 6,4 mm, diambil setebal komponen;
- Untuk komponen dengan tebal 6,4 mm atau lebih, diambil 1,6 mm kurang dari tebal komponen kecuali jika dirancang agar memperoleh tebal rencana las tertentu.

13.5.3.4 Tebal rencana las

Tebal rencana las, t_r , suatu las sudut ditunjukkan dalam Gambar 13.5-2.

13.5.3.5 Panjang efektif

Panjang efektif las sudut adalah seluruh panjang las sudut berukuran penuh. Panjang efektif las sudut paling tidak harus 4 kali ukuran las; jika kurang, maka ukuran las untuk perencanaan harus dianggap sebesar 0,25 dikali panjang efektif. Persyaratan panjang minimum berlaku juga pada sambungan pelat yang bertumpuk (*lap*). Tiap segmen las sudut yang tidak menerus (selang-seling) harus mempunyai panjang efektif tidak kurang dari 40 mm dan 4 kali ukuran nominal las.

13.5.3.6 Luas efektif

Luas efektif las sudut adalah perkalian panjang efektif dan tebal rencana las.

13.5.3.7 Jarak melintang antar las sudut

Bila dua las sudut menerus sejajar menghubungkan dua komponen dalam arah gaya untuk membentuk komponen struktur tersusun,

jarak melintang antara las tidak boleh melebihi $32t_p$, kecuali untuk kasus las sudut tidak menerus pada ujung komponen struktur tarik, jarak melintang tidak boleh melebihi $16t_p$ atau 200 mm, dengan t_p adalah tebal terkecil dari dua komponen yang disambung. Agar butir ini terpenuhi maka las sudut boleh berada dalam selot dan lubang pada arah gaya.

13.5.3.8 Jarak antar las sudut tidak menerus

Kecuali pada ujung komponen struktur tersusun, jarak bersih sepanjang garis las, antara las sudut tidak menerus yang berdekatan, tidak boleh melebihi nilai terkecil dari:

- (i) Untuk komponen yang menerima gaya tekan: $16t_p$ dan 300 mm;
- (ii) Untuk komponen yang menerima gaya tarik: $24t_p$ dan 300 mm.

13.5.3.9 Komponen struktur tersusun - las sudut tidak menerus

Bila las sudut tidak menerus menghubungkan komponen dalam membentuk komponen struktur tersusun, las harus memenuhi persyaratan berikut:

- a) Pada ujung sisi tarik atau tekan suatu balok, atau pada ujung komponen struktur tarik, bila hanya digunakan las sudut pada sisinya, las sudut tersebut harus mempunyai panjang sambungan yang paling sedikit sama dengan lebar komponen tersambung. Bila komponen tersambung dibuat menyempit, panjang las paling tidak harus sebesar kedua nilai di bawah ini:
 - (i) lebar bagian paling lebar, dan
 - (ii) panjang bagian yang menyempit.
- b) Pada pelat landas komponen struktur tekan, las harus mempunyai panjang pada tiap garis sambungan di permukaan kontak sebesar paling sedikit selebar komponen struktur yang terbesar;
- c) Bila balok dihubungkan pada permukaan komponen struktur tekan, las yang menghubungkan komponen struktur tekan harus mencapai tepi atas dan tepi bawah balok dan ditambah:
 - (i) untuk sambungan sederhana (bebas momen): suatu jarak d di bawah permukaan bawah dari balok, dan
 - (ii) untuk sambungan kaku (tidak bebas momen): suatu jarak d di atas dan di bawah permukaan atas dan bawah dari balok; dengan d adalah dimensi maksimum penampang melintang dari komponen struktur tekan.

13.5.3.10 Kuat las sudut

Las sudut yang memikul gaya terfaktor per satuan panjang las, R_u , harus memenuhi:

$$R_u \leq \phi R_{nw}$$

dengan,

$$\phi_f R_{nw} = 0,75 t_t (0,6 f_{uw}) \text{ (las)} \quad (13.5-3a)$$

$$\phi_f R_{nw} = 0,75 t_t (0,6 f_u) \text{ (bahan dasar)} \quad (13.5-3b)$$

dengan $\phi_f = 0,75$ faktor reduksi kekuatan saat fraktur

Keterangan:

f_{uw} adalah tegangan tarik putus logam las, MPa

f_u adalah tegangan tarik putus bahan dasar, MPa

t_t adalah tebal rencana las, mm

13.5.4 Las pengisi**13.5.4.1 Las pengisi (las sudut di sekeliling lubang bulat atau selot)**

Las pengisi harus dianggap sebagai las sudut yang ditentukan dalam Butir 13.5.3.5, dengan kuat nominal yang ditentukan dalam Butir 13.5.3.10. Ukuran minimumnya sama dengan yang berlaku untuk las sudut (lihat Butir 13.5.3.2).

13.5.4.2 Las pengisi dalam bentuk lubang terisi dengan metal las

Luas geser efektif, A_w , las dalam lubang terisi dengan logam las harus dianggap sama dengan luas penampang melintang nominal lubang bulat atau selot dalam bidang permukaan komponen tersambung. Las pengisi demikian yang memikul gaya geser terfaktor, R_u , harus memenuhi:

$$R_u \leq \phi R_{nw}$$

dengan,

$$\phi_f R_{nw} = 0,75 (0,6 f_{uw}) A_w \quad (13.5-4)$$

Keterangan:

$\phi_f = 0,75$ adalah faktor reduksi kekuatan saat fraktur

f_{uw} adalah tegangan tarik putus logam las

13.5.4.3 Pembatasan

Las pengisi hanya boleh digunakan untuk menyalurkan geser dalam sambungan tumpuk atau untuk mencegah tekuk dari bagian yang bertumpuk atau untuk menyambung bagian komponen dari komponen struktur tersusun.

13.6 Kelompok Las**13.6.1 Kelompok las yang memikul pembebanan dalam bidang****13.6.1.1 Cara analisis umum**

Gaya rencana per satuan panjang dalam kelompok las sudut yang memikul pembebanan dalam bidang ditentukan sesuai dengan hal-hal berikut:

- a) Pelat sambungan harus dianggap kaku dan berputar terhadap pusat sesaat kelompok las;
- b) Jika kelompok las hanya memikul momen murni (kopel), pusat sesaat berimpit dengan titik berat kelompok las. Jika kelompok las memikul gaya geser dalam bidang yang bekerja pada titik berat kelompok las, pusat sesaat berada pada titik tak-hingga dan gaya terfaktor per satuan panjang, R_u , terbagi merata pada kelompok las. Untuk kasus lainnya harus digunakan cara analisis yang standar;
- c) Kuat perlu per satuan panjang, R_u , pada setiap titik dalam kelompok las sudut harus dianggap bekerja tegak lurus pada garis yang menghubungkan titik tersebut dan pusat sesaat, dan berbanding lurus dengan jarak kedua titik tersebut. Las sudut harus memenuhi persyaratan Butir 13.5.3.10 pada semua titik dalam kelompok las sudut. Jika tebal rencana dalam kelompok las sudut seragam, cukup meninjau satu titik yang jari-jarinya terhadap pusat sesaat terbesar.

13.6.1.2 Analisis alternatif

Kuat rencana per satuan panjang dalam kelompok las sudut dapat juga ditetapkan dengan menganggap kelompok las sudut sebagai perluasan komponen struktur yang dihubungkan.

13.6.2 Kelompok las yang memikul pembebanan luar bidang**13.6.2.1 Cara analisis umum**

Kuat rencana per satuan panjang dari kelompok las sudut yang memikul pembebanan tidak sebidang ditentukan sesuai dengan hal-hal:

- a) Kelompok las sudut harus ditinjau secara terpisah dari komponen struktur yang dihubungkan, dan
- b) Kuat rencana per satuan panjang dalam las sudut yang dihasilkan dari momen lentur rencana harus dianggap berbanding lurus dengan jarak terhadap sumbu garis netral yang bersangkutan. Gaya rencana per satuan panjang dalam kelompok las sudut yang dihasilkan dari tiap gaya geser atau gaya aksial harus dianggap terbagi merata sepanjang kelompok las sudut. Las sudut harus memenuhi persyaratan Butir 13.5.3.10 pada semua titik dalam kelompok las sudut.

13.6.2.2 Analisis alternatif

Kuat rencana per satuan panjang dalam kelompok las sudut dapat juga ditentukan dengan menganggap kelompok las sudut sebagai perluasan komponen struktur yang dihubungkan.

13.6.3 Kelompok las yang memikul pembebanan dalam dan luar bidang

13.6.3.1 Cara analisis umum

Kuat rencana per satuan panjang seperti yang ditetapkan sesuai dengan Butir 13.6.1.1 dan 13.5.2.1 harus memenuhi Butir 13.5.3.10 pada semua titik dalam kelompok las sudut.

13.6.3.2 Analisis alternatif

Kuat rencana per satuan panjang sama dengan analisis yang ditentukan pada Butir 13.6.1.2 dan 13.6.2.2.

14. KETAHANAN API

14.1 Umum

Butir ini berlaku untuk komponen struktur bangunan baja yang disyaratkan mempunyai tingkat ketahanan api (TKA). Untuk komponen struktur dan sambungan yang dilindungi terhadap api, tebal bahan pelindung (h_i) harus lebih besar atau sama dengan tebal yang dibutuhkan untuk menghasilkan suatu periode kelayakan struktural (PKS) yang sama dengan TKA yang diperlukan.

Untuk komponen struktur dan sambungan yang tidak dilindungi terhadap api maka rasio luas permukaan ekspos berbanding massa (k_{sm}) harus lebih kecil atau sama dengan rasio yang dibutuhkan untuk menghasilkan suatu PKS yang sama dengan TKA yang diperlukan.

Periode kelayakan struktural (PKS) harus dihitung menurut Butir 14.3 menggunakan variasi-variasi perilaku mekanis baja terhadap temperatur, yang diatur dalam Butir 14.4.

Sambungan-sambungan dan penetrasi pelat badan harus sesuai dengan Butir 14.10.

14.2 Beberapa definisi

Pada butir ini berlaku definisi-definisi sebagai berikut:

Rasio luas permukaan ekspos berbanding massa (k_{sm}) adalah rasio luas bidang yang terekspos pada api terhadap massa baja. Dalam hal komponen struktur yang menggunakan material pelindung api, luas permukaan ekspos harus diambil sebagai luas bidang dalam dari material pelindung api.

Kondisi terekspos api dapat berupa:

- a) **Kondisi terekspos api tiga-sisi** adalah komponen struktur baja yang tergabung atau menempel pada suatu dinding atau lantai yang terbuat dari beton atau pasangan batu bata¹⁾;

¹⁾ Kondisi terekspos api tiga-sisi harus diperhitungkan terpisah, kecuali disebutkan lain seperti yang ditentukan dalam Butir 14.9; Komponen struktur yang mempunyai permukaan yang menempel pada lantai atau dinding yang terbuat dari beton atau pasangan batu bata lebih dari satu sisi, dapat diperlakukan sebagai kondisi terekspos api tiga-sisi.

- b) **Kondisi terekspos api empat-sisi** adalah komponen struktur baja yang terekspos api pada semua sisi-sisinya.

Sistem perlindungan api adalah material pelindung api dan metode pemasangannya pada komponen struktur baja.

Tingkat ketahanan api (TKA) adalah jangka waktu ketahanan api yang khusus digunakan untuk menentukan kelayakan struktur, dalam menit, yang dipersyaratkan untuk dapat dicapai, dalam suatu uji api standar.

Periode kelayakan struktural (PKS) adalah jangka waktu (t), dalam menit, bagi suatu komponen struktur untuk mencapai keadaan batas kelayakan struktural dalam suatu uji api standar.

Prototipe adalah suatu benda uji, yang mewakili komponen struktur baja dengan sistem pelindungannya terhadap api, yang dicoba dalam suatu uji api standar.

Uji api standar adalah pengujian ketahanan api yang disyaratkan dalam SNI 1741-1989-M.

Daya lekat adalah kemampuan sistem pelindung api untuk tetap berada di tempatnya pada saat komponen struktur tersebut melendut selama dicoba dalam uji api standar, menurut SNI 1741-1989-M.

Kelayakan struktural adalah kemampuan suatu komponen struktur yang dikenakan uji api standar untuk mendukung suatu beban uji, seperti yang ditentukan dalam SNI 1741-1989-M.

14.3 Penentuan periode kelayakan struktural

Periode kelayakan struktural (PKS) harus ditentukan dengan menggunakan salah satu dari metode berikut ini:

- a) dengan cara perhitungan di bawah ini:
 - (i) mulai dengan menghitung temperatur batas baja (T_1), sesuai dengan Butir 14.5; dan kemudian
 - (ii) menghitung PKS , sebagai selisih waktu antara dimulainya pengujian (t) sampai dengan temperatur batas baja tercapai, sesuai dengan Butir 14.6 (untuk unsur struktur yang terlindung) dan Butir 14.7 (untuk unsur struktur yang tak terlindung); atau
- b) dengan penggunaan langsung suatu hasil pengujian tunggal sesuai dengan Butir 14.8; atau

- c) dengan analisis struktural sesuai dengan Butir 7, dengan menggunakan sifat-sifat mekanis yang bervariasi terhadap temperatur sesuai dengan Butir 14.4. Perhitungan temperatur komponen struktur yang dimaksud harus menggunakan metode analisis yang rasional dan dikonfirmasi dengan data pengujian.

14.4 Variasi sifat-sifat mekanis baja terhadap temperatur

14.4.1 Variasi tegangan leleh terhadap temperatur

Pengaruh temperatur terhadap tegangan leleh baja ditentukan sebagai berikut:

$$\frac{f_y(T)}{f_y(30)} = 1,0 \quad \text{untuk } 0^\circ\text{C} < T \leq 215^\circ\text{C} \quad (14.4-1a)$$

$$\frac{f_y(T)}{f_y(30)} = \frac{905 - T}{690} \quad \text{untuk } 215^\circ\text{C} < T \leq 905^\circ\text{C} \quad (14.4-1b)$$

Keterangan:

$f_y(T)$ adalah tegangan leleh baja pada $T^\circ\text{C}$

$f_y(30)$ adalah tegangan leleh baja pada 30°C

T adalah temperatur baja dalam $^\circ\text{C}$

Hubungan ini diperlihatkan oleh Kurva 1 pada Gambar 14.4.

14.4.2 Variasi modulus elastisitas terhadap temperatur

Pengaruh temperatur terhadap modulus elastisitas baja harus diambil sebagai berikut:

$$\frac{E(T)}{E(30)} = 1.0 + \left\{ \frac{T}{2000 \left[\ln \left(\frac{T}{1100} \right) \right] \right\} \quad \text{untuk } 0^\circ\text{C} < T \leq 600^\circ\text{C} \quad (14.4-2a)$$

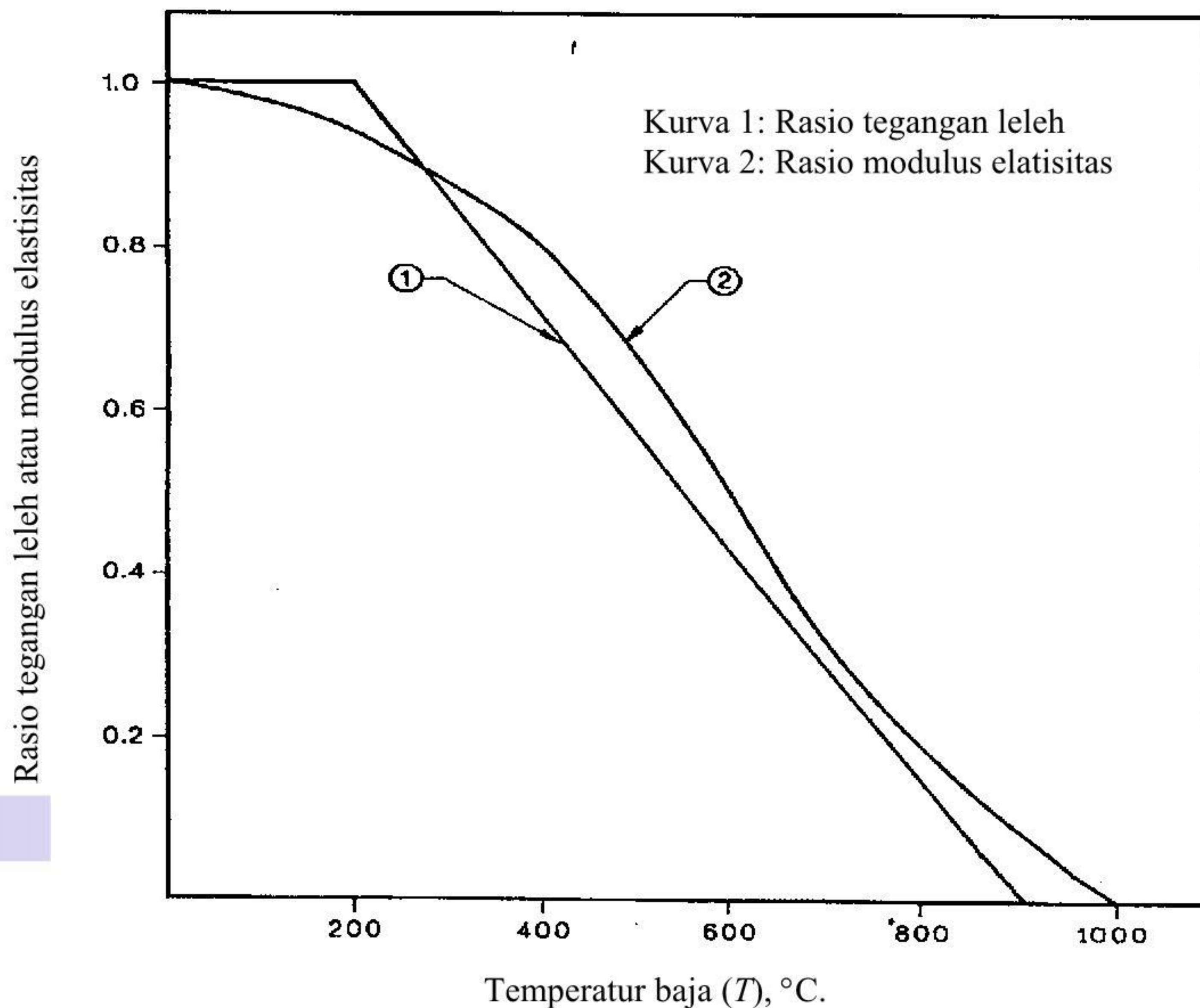
$$\frac{E(T)}{E(30)} = \frac{690 \left(1 - \frac{T}{1000} \right)}{T - 53,5} \quad \text{untuk } 600^\circ\text{C} < T \leq 1000^\circ\text{C} \quad (14.4-2b)$$

dengan,

$E(T)$ adalah modulus elastisitas baja pada T °C,

$E(30)$ adalah modulus elastisitas baja pada 30 °C.

Hubungan ini diperlihatkan oleh Kurva 2 pada Gambar 14.4.



Gambar 14.4

Variasi sifat mekanis baja terhadap temperatur.

14.5 Penentuan temperatur batas baja

Temperatur batas baja (T_1) harus dihitung sebagai berikut:

$$T_1 = 905 - 690 r_f \quad (14.5-1)$$

dengan r_f adalah perbandingan antara gaya-dalam rencana yang bekerja pada komponen struktur akibat beban rencana untuk suatu kebakaran yang ditetapkan menurut standar yang diakui terhadap kuat rencana komponen struktur (ϕR_n) pada temperatur ruang.

14.6 Penentuan waktu tercapainya temperatur batas untuk komponen struktur yang terlindung

14.6.1 Metode

Waktu (t) untuk mencapai temperatur batas (T_1) ditentukan dengan perhitungan berdasarkan pada rangkaian pengujian api sesuai dengan Butir 14.6.2 atau dari hasil-hasil suatu pengujian tunggal sesuai dengan Butir 14.6.3.

Untuk balok dan komponen struktur lainnya yang mempunyai kondisi terekspos api empat-sisi, temperatur batas (T_1) harus diambil sebagai nilai rata-rata dari temperatur yang diukur pada lokasi termokopel sebagaimana yang ditunjukkan dalam SNI 1741-1989-M.

Untuk kolom-kolom dengan kondisi terekspos api tiga-sisi, temperatur batas (T_1) harus diambil sebagai nilai rata-rata temperatur yang diukur pada lokasi termokopel pada muka yang terjauh dari dinding. Sebagai alternatif, dapat digunakan temperatur dari komponen struktur yang mempunyai kondisi terekspos api empat-sisi dan yang mempunyai rasio luas permukaan ekspos berbanding massa yang sama.

14.6.2 Temperatur yang didasarkan pada rangkaian pengujian

Perhitungan variasi temperatur baja terhadap waktu harus didapat dari interpolasi hasil-hasil rangkaian pengujian api menggunakan persamaan analisis regresi yang ditentukan dalam Butir 14.6.2.1 dengan batasan dan kondisi yang tercantum pada Butir 14.6.2.2.

14.6.2.1 Analisis regresi

Hubungan antara temperatur (T) dan waktu (t) untuk suatu rangkaian pengujian pada suatu kumpulan dihitung dengan regresi kuadrat-terkecil sebagai berikut:

$$t = k_0 + k_1 h_i + k_2 \left(\frac{h_i}{k_{sm}} \right) + k_3 T + k_4 h_i T + k_5 \left(\frac{h_i T}{k_{sm}} \right) + k_6 \left(\frac{T}{k_{sm}} \right) \quad (14.6-1)$$

Keterangan:

t adalah waktu dari saat awal pengujian, menit
 k_i adalah koefisien-koefisien regresi
 h_i adalah ketebalan material pelindung api, mm
 T adalah temperatur baja, dalam derajat Celsius, $T > 250$ °C

k_{sm} adalah rasio luas permukaan terekspos api terhadap massa, m^2/ton

14.6.2.2 Batasan dan kondisi penggunaan analisis regresi

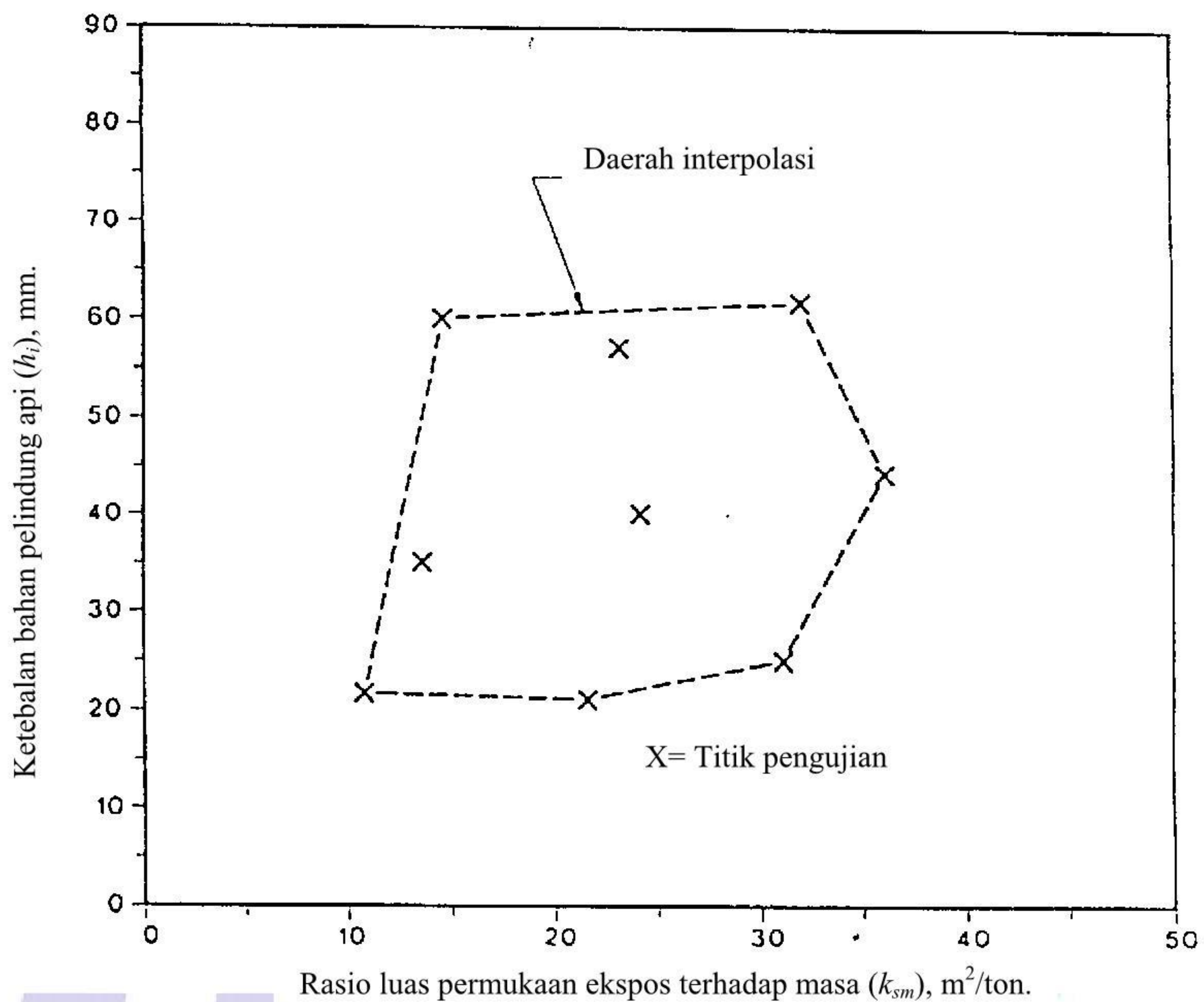
Data pengujian yang digunakan sesuai dengan Butir 14.6.2.1 di atas harus memenuhi hal-hal berikut ini:

- a) Komponen struktur baja harus dilindungi dengan papan, selimut hasil semprotan, atau bahan insulasi yang serupa, dan yang mempunyai nilai kerapatan kering kurang dari 1.000 kg/m^3 ;
- b) Semua pengujian harus menggunakan sistem pelindung api yang sama;
- c) Semua komponen struktur harus mempunyai kondisi terekspos api yang sama;
- d) Rangkaian pengujian harus terdiri dari paling sedikit sembilan pengujian;
- e) Rangkaian pengujian dapat melibatkan prototipe-prototipe yang belum pernah dibebani, asalkan daya lekatnya telah dibuktikan sebelumnya;
- f) Semua komponen struktur yang dianggap memiliki kondisi terekspos api tiga-sisi harus berada dalam suatu kelompok sesuai dengan Butir 14.9.

Persamaan regresi digunakan hanya untuk interpolasi. Batas-batas interpolasi harus ditentukan seperti pada Gambar 14.6.

Persamaan regresi yang didapat untuk satu sistem perlindungan api dapat digunakan pada sistem yang lain yang menggunakan material pelindung api yang sama dan dengan kondisi terekspos api yang sama, asalkan daya lekat untuk sistem yang kedua telah dibuktikan sebelumnya.

Persamaan regresi yang didapat menggunakan prototipe dengan kondisi terekspos api empat-sisi dapat digunakan pada komponen struktur dengan kondisi terekspos api tiga-sisi, asalkan daya lekat untuk kasus tiga sisi telah dibuktikan sebelumnya.



Gambar 14.6.
Definisi daerah interpolasi.

14.6.3 Temperatur yang didasarkan pada pengujian tunggal

Variasi temperatur baja terhadap waktu yang diukur dalam suatu pengujian api standar dapat digunakan tanpa modifikasi dengan syarat:

- sistem proteksi api adalah sama dengan prototipe;
- kondisi terekspos api adalah sama dengan prototipe;
- tebal material pelindung tahan api adalah sama dengan atau lebih besar daripada prototipe;
- rasio luas permukaan terekspos terhadap masa adalah sama dengan atau lebih kecil daripada prototipe; dan
- bilamana prototipe telah diuji pada suatu pengujian api standar dalam keadaan tak-terbebani maka daya lekat sistem proteksi api harus telah dibuktikan terlebih dahulu secara terpisah.

14.7 Penentuan waktu tercapainya temperatur batas untuk komponen struktur yang tak-terlindung

Waktu (t) yang diperlukan untuk mencapai temperatur batas harus dihitung sebagai berikut:

a) untuk kondisi terekspos api tiga-sisi:

$$t = -5,2 + 0,0221T_1 + \left(\frac{0,433T_1}{k_{sm}} \right) \quad (14.7-1)$$

b) untuk kondisi terekspos api empat-sisi:

$$t = -4,7 + 0,0263T_1 + \left(\frac{0,213T_1}{k_{sm}} \right) \quad (14.7-2)$$

Keterangan:

t adalah waktu dari saat awal pengujian, menit

T_1 adalah temperatur batas baja, °C, $500^\circ\text{C} \leq T_1 \leq 750^\circ\text{C}$

k_{sm} adalah rasio luas permukaan ekspos terhadap masa, $2 \text{ m}^2/\text{ton} \leq k_{sm} \leq 35 \text{ m}^2/\text{ton}$

Untuk temperatur di bawah 500°C , interpolasi linier harus digunakan berdasarkan atas waktu pada 500°C dan suatu temperatur awal 30°C pada $t = 0$.

14.8 Penentuan Periode Kelayakan Struktur (PKS) dari suatu pengujian tunggal

Periode kelayakan struktural (PKS) yang ditentukan menurut SNI 1741-1989-M dari suatu pengujian tunggal dapat digunakan tanpa modifikasi, dengan syarat:

- sistem perlindungan api adalah sama dengan prototipe;
- kondisi terekspos api adalah sama dengan prototipe;
- tebal material pelindung api adalah sama dengan atau lebih besar dari prototipe;
- rasio luas permukaan terekspos terhadap masa adalah kurang daripada atau sama dengan prototipe;
- kondisi penyangga adalah sama dengan prototipe dan kondisi pengekangan adalah minimal sama baik dengan yang dimiliki oleh prototipe; dan
- rasio beban rencana untuk kebakaran terhadap kapasitas rencana komponen struktur tersebut adalah lebih kecil atau sama dengan rasio yang dimiliki oleh prototipe.

14.9 Kondisi terekspos api tiga-sisi

Komponen struktur yang diperkirakan mempunyai kondisi terekspos api tiga-sisi harus diperhitungkan dalam kelompok-kelompok yang terpisah kecuali bila kondisi-kondisi berikut dipenuhi:

- a) Karakteristik komponen struktur dalam suatu kelompok tidak boleh bervariasi antara satu dengan lainnya lebih dari

(i) kerapatan beton : $\frac{\text{tertinggi dalam kelompok}}{\text{terendah dalam kelompok}} \leq 1,25$; dan

(ii) tebal efektif (h_e): $\frac{\text{terbesar dalam kelompok}}{\text{terkecil dalam kelompok}} \leq 1,25$

dengan tebal efektif (h_e) adalah sama dengan luas penampang tanpa rongga per satuan lebar, seperti terlihat pada Gambar 14.9(a).

- b) Rongga-rongga gelombang harus berupa

- (i) semua terbuka; atau
(ii) semua terisi seperti terlihat pada Gambar 14.9(b).

Lantai beton dapat menggunakan cetakan lantai baja permanen.

14.10 Pertimbangan-pertimbangan khusus

14.10.1 Sambungan-sambungan

Agar dicapai tingkat ketahanan api yang diinginkan, sambungan-sambungan harus dilindungi dengan material pelindung api yang paling tebal yang disyaratkan untuk komponen-komponen struktur yang berhubungan dengan sambungan-sambungan tersebut. Ketebalan ini harus dipertahankan pada seluruh komponen sambungan, termasuk kepala baut, las, dan pelat-pelat penyambung.

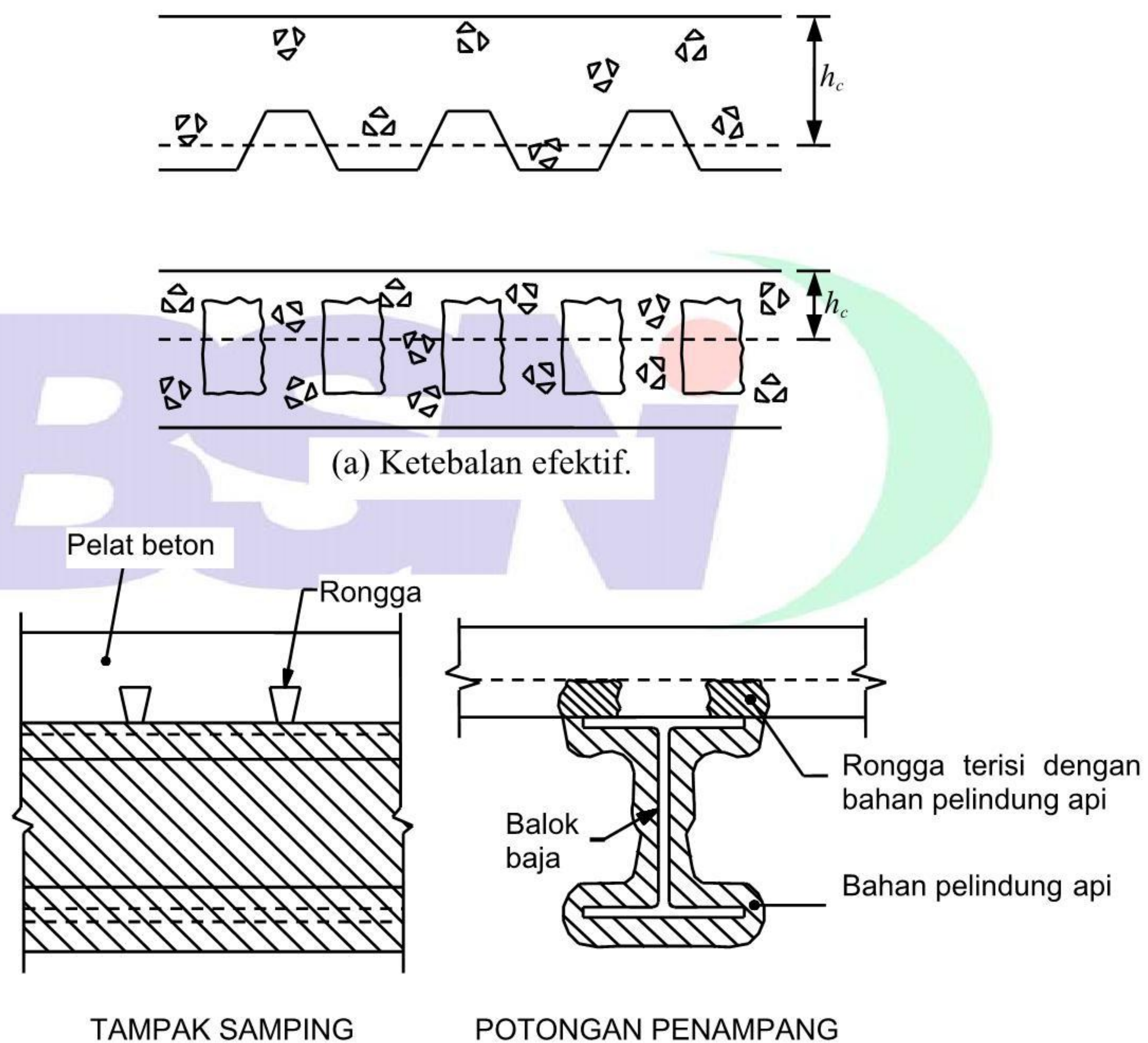
14.10.2 Penetrasi pelat badan

Tebal bahan pelindung api pada dan di sekitar lubang penetrasi pelat badan harus diambil yang terbesar dari:

- a) tebal yang dibutuhkan untuk daerah di atas lubang penetrasi yang diperhitungkan sebagai suatu kondisi terekspos api tiga-sisi (k_{sm1}) (lihat Gambar 14.10);

- b) tebal yang dibutuhkan untuk daerah di bawah lubang penetrasi yang diperhitungkan sebagai suatu kondisi terekspos api empat-sisi (k_{sm2}) (lihat Gambar 14.10); dan
- c) tebal yang dibutuhkan untuk penampang utuh secara keseluruhan yang diperhitungkan sebagai suatu kondisi terekspos api tiga-sisi (k_{sm}) (lihat Gambar 14.10).

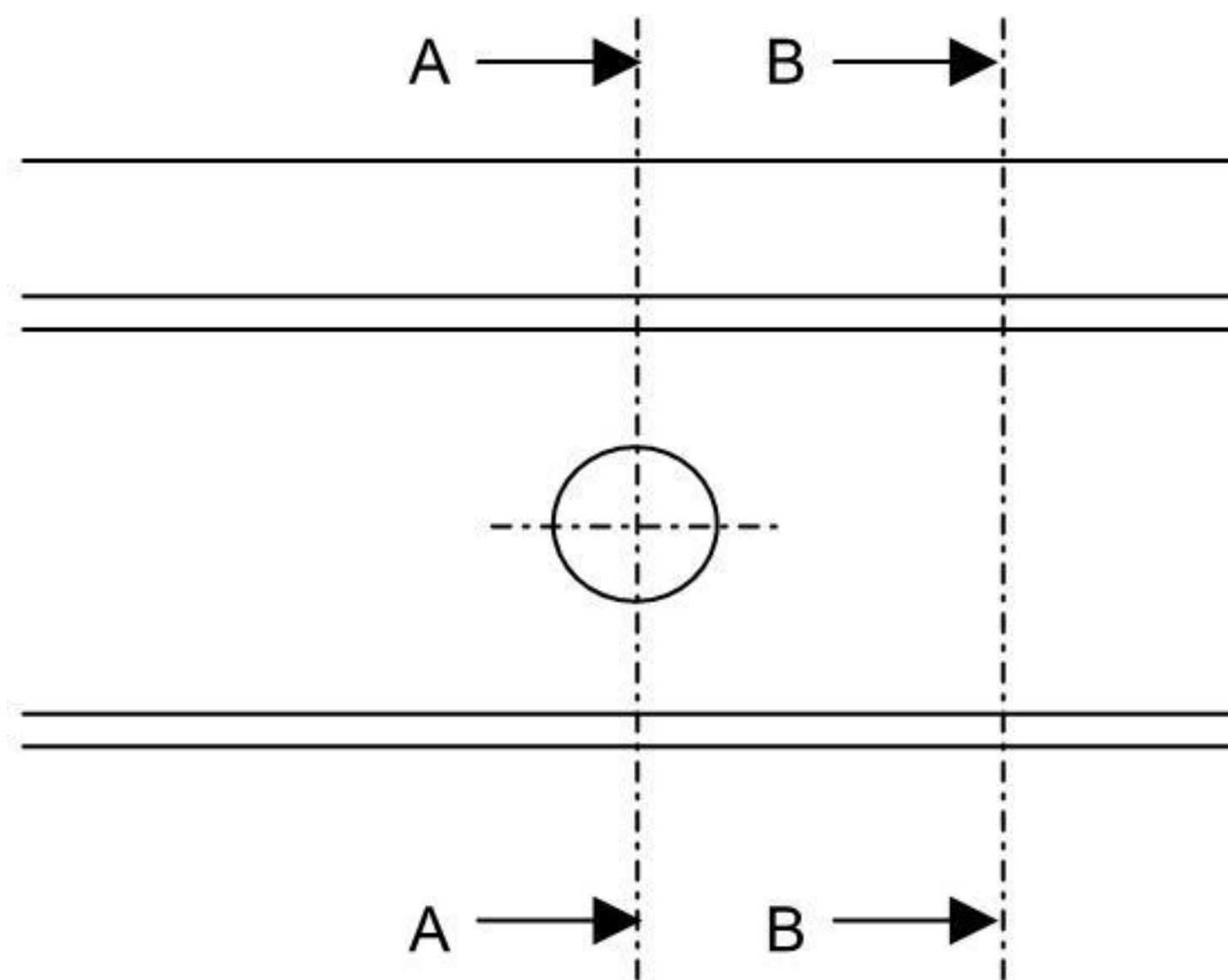
Ketebalan bahan tersebut harus meliputi seluruh tinggi balok dan daerah sejauh jarak yang sama dengan tinggi balok dan tidak kurang dari 300 mm dari masing-masing sisi lubang penetrasi.



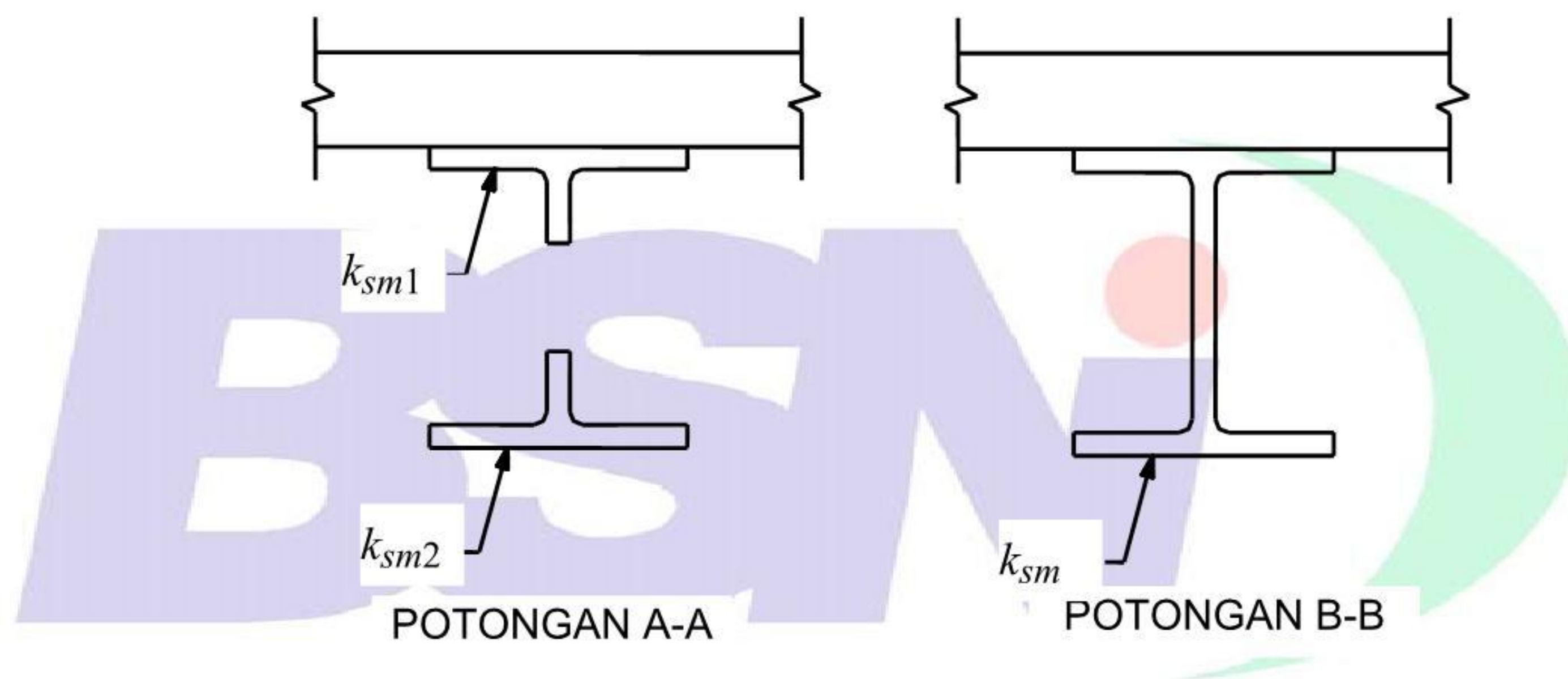
(b) Kondisi rongga-rongga gelombang yang terisi.

Gambar 14.9

Ketentuan-ketentuan kondisi terekspos api tiga-sisi.



Tampak samping balok dengan lubang penetrasi pada pelat badan.



Gambar 14.10
Penetrasi pelat badan.

15. KETENTUAN PERENCANAAN TAHAN GEMPA UNTUK STRUKTUR BANGUNAN BAJA

15.1 Ketentuan umum

Ketentuan ini dimaksudkan untuk perencanaan dan pelaksanaan komponen struktur bangunan baja termasuk sambungan dalam struktur dengan gaya yang bekerja dihasilkan dari beban gempa yang telah ditentukan dengan memperhatikan disipasi energi di dalam daerah respon nonlinier struktur bangunan tersebut.

Komponen struktur untuk bangunan baja tahan gempa harus memenuhi,

$$\phi R_n \geq R_u \quad (15.1-1)$$

Keterangan:

ϕ adalah faktor reduksi beban sesuai Tabel 6.4.2

R_n adalah kuat nominal komponen struktur sesuai Butir 8, 9, 10, 12, 13, dan 15

R_u adalah pengaruh aksi terfaktor, yaitu momen atau gaya yang diakibatkan oleh suatu kombinasi pembebanan yang diberikan dalam Butir 6 dan 15, atau pengaruh aksi perlu, yaitu momen atau gaya yang disyaratkan untuk struktur tahan gempa yang diberikan dalam Butir 15

15.2 Parameter beban gempa

Gaya geser dasar rencana total, V , pada suatu arah ditetapkan sebagai berikut:

$$V = \frac{C_v I}{RT} W_t \quad (15.2-1)$$

Gaya geser dasar rencana total, V , tidak perlu lebih besar daripada nilai berikut ini,

$$V \leq V_{maks} = \frac{2,5 C_a I}{R} W_t \quad (15.2-2)$$

Keterangan:

V adalah gaya geser dasar rencana total, N

V_{maks} adalah gaya geser dasar rencana maksimum, N

R adalah faktor modifikasi respons (lihat Tabel 15.2-1)

T adalah waktu getar dasar struktur, detik

W_t adalah berat total struktur, N

- I adalah faktor kepentingan struktur yang ditetapkan oleh ketentuan yang berlaku dalam Butir 3.1 dan 3.2
- C_a dan C_v adalah koefisien percepatan gempa yang ditetapkan oleh ketentuan yang berlaku dalam Butir 3.1 dan 3.2

Berat total struktur W_t ditetapkan sebagai jumlah dari beban-beban berikut ini:

- 1) Beban mati total dari struktur bangunan;
- 2) Bila digunakan dinding partisi pada perencanaan lantai maka harus diperhitungkan tambahan beban sebesar 0,5 kPa;
- 3) Pada gudang-gudang dan tempat-tempat penyimpanan barang maka sekurang-kurangnya 25% dari beban hidup rencana harus diperhitungkan;
- 4) Beban tetap total dari seluruh peralatan dalam struktur bangunan harus diperhitungkan.

15.3 Beban, kombinasi beban, dan kuat nominal

15.3.1 Beban dan kombinasi beban

Beban dan kombinasi beban yang digunakan adalah yang telah diatur pada Butir 6, kecuali bila ditentukan secara khusus pada butir ini.

E_h adalah pengaruh dari komponen horizontal gaya gempa yang ditetapkan untuk suatu struktur bangunan. Bila dipersyaratkan dalam standar ini maka pengaruh komponen horizontal gaya gempa yang dikalikan suatu faktor amplifikasi, $\Omega_0 E_h$, harus digunakan sebagai ganti dari E_h seperti dalam kombinasi beban di bawah ini. Faktor amplifikasi Ω_0 atau faktor kuat cadang struktur diberikan pada Tabel 15.2-1.

Kombinasi beban dengan memperhatikan faktor kuat cadang struktur, Ω_0 , adalah:

$$1,2 D + \gamma_L L + \Omega_0 E_h \quad (15.3-1)$$

$$0,9 D - \Omega_0 E_h \quad (15.3-2)$$

dengan $\gamma_L = 0,5$ bila $L < 5$ kPa dan $\gamma_L = 1$ bila $L \geq 5$ kPa.

Keterangan:

- D adalah pengaruh beban mati yang disebabkan oleh berat elemen struktur dan beban tetap pada struktur
- L adalah pengaruh beban hidup akibat pengguna gedung dan peralatan bergerak
- E_h adalah pengaruh dari komponen horizontal gaya gempa

Ω_0 adalah faktor kuat cadang struktur (lihat Tabel 15.2-1)

Pengaruh orthogonalitas gaya gempa, yaitu pengaruh pembebanan gempa pada dua arah yang saling tegak lurus, harus diperhitungkan dalam perencanaan struktur bangunan. Pengaruh orthogonalitas tidak perlu ditinjau bila dalam perencanaan struktur bangunan tahan gempa digunakan $\Omega_0 E_h$.

15.3.2 Kuat nominal

Kuat nominal sistem rangka, komponen struktur, dan sambungan harus memenuhi persyaratan-persyaratan yang ada dalam standar ini kecuali bila dipersyaratkan lain dalam butir ini.

15.4 Simpangan antar lantai

15.4.1 Simpangan inelastis maksimum

Simpangan antar lantai dihitung berdasarkan respons simpangan inelastis maksimum, Δ_M , dihitung sebagai berikut,

$$\Delta_M = 0,7 R \Delta_s \quad (15.4-1)$$

dengan R adalah faktor modifikasi respons (lihat Table 12.2-1).

Pada persamaan (15.4-1), Δ_s adalah respons statis simpangan elastis struktur yang terjadi di titik-titik kritis akibat beban gempa horizontal rencana yang ditetapkan pada Butir 15.2. Dalam melakukan perhitungan simpangan tersebut pengaruh translasi dan rotasi bangunan harus diperhitungkan. Simpangan elastis struktur juga dapat dihitung menggunakan analisis dinamis.

15.4.2 Batasan simpangan antar lantai

Simpangan antar lantai yang dihitung berdasarkan persamaan (15.4-1) tidak boleh melebihi 2,5 % dari jarak antar lantai untuk suatu struktur dengan waktu getar dasar lebih kecil daripada atau sama dengan 0,7 detik. Untuk struktur bangunan dengan waktu getar dasar lebih besar daripada 0,7 detik, simpangan antar lantai tersebut tidak boleh melebihi 2,0 % dari jarak antar lantai.

15.5 Bahan

15.5.1 Spesifikasi bahan

Untuk bangunan yang melebihi satu tingkat, bahan baja yang digunakan pada Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK), Sistem Rangka Pemikul Momen Terbatas (SRPMT), Sistem Rangka Pemikul Momen Biasa (SRPMB), Sistem Rangka Batang Pemikul Momen Khusus (SRBPMK), Sistem Rangka Bresing Konsentrik Khusus (SRBKK), Sistem Rangka Bresing Konsentrik Biasa (SRBKB), Sistem Rangka Bresing Eksentris (SRBE), harus memenuhi persyaratan berikut ini:

- a) Perbandingan tegangan leleh terhadap tegangan putus tariknya adalah kurang dari 0,85,
- b) Hubungan tegangan-regangan harus memperlihatkan daerah *plateau* yang cukup panjang,
- c) Pengujian uniaksial tarik pada spesimen baja memperlihatkan perpanjangan maksimum tidak kurang daripada 20% untuk daerah pengukuran sepanjang 50 mm,
- d) Mempunyai sifat relatif mudah dilas.

Persyaratan tegangan leleh minimum dari bahan baja untuk komponen struktur dengan perilaku inelastis diharapkan akan terjadi berkenaan dengan kombinasi pembebanan (15.3-1) dan (15.3-2) tidak boleh melebihi 350 MPa, kecuali bila dapat ditunjukkan secara eksperimen atau secara rasional bahwa bahan baja yang digunakan sesuai untuk tujuan tersebut. Persyaratan ini tidak berlaku bagi kolom yang diharapkan perilaku inelastisnya hanya akan terjadi pada dasar kolom yang mengalami leleh pada tingkat paling bawah.

15.5.2 Sifat bahan dalam menentukan kuat perlu sambungan dan komponen struktur yang terkait

Bila disyaratkan oleh standar ini maka kuat perlu sambungan dan komponen struktur yang terkait ditentukan berdasarkan tegangan leleh yang dapat terjadi yaitu f_{ye} dari komponen struktur yang disambung, dengan

$$f_{ye} = R_y f_y$$

dan f_y adalah tegangan leleh bahan baja yang digunakan. Untuk profil dan batang baja gilas R_y adalah 1,5 bila digunakan BJ 41 atau yang lebih lunak dan 1,3 bila digunakan BJ 50 atau yang lebih keras. Untuk pelat baja nilai R_y adalah 1,1. Nilai R_y lainnya dapat digunakan bila dapat didukung oleh hasil percobaan.

15.6 Persyaratan kolom

15.6.1 Kekuatan kolom

Bila $N_u / \phi N_n > 0,4$, kolom untuk sistem rangka tahan gempa selain harus memenuhi persyaratan sesuai dengan standar ini, juga harus dibatasi pula oleh persyaratan sebagai berikut:

- 1) Gaya tekan aksial terfaktor kolom, tanpa adanya pengaruh momen-momen yang bekerja, ditetapkan berdasarkan kombinasi pembebanan persamaan (15.3-1);
- 2) Gaya tarik aksial terfaktor kolom, tanpa adanya pengaruh momen-momen yang bekerja, ditetapkan berdasarkan kombinasi pembebanan persamaan. (15.3-2);
- 3) Gaya aksial terfaktor yang ditetapkan pada Butir 15.6.1(1) dan 15.6.1(2) tidak perlu melampaui salah satu dari kedua nilai berikut ini:
 - (i) Beban maksimum yang dipindahkan kepada kolom dengan memperhitungkan $1,1 R_y$ kali kuat nominal balok atau bresing pada struktur bangunan yang merangka kepada kolom tersebut.
 - (ii) Nilai batas yang ditentukan oleh kapasitas fondasi untuk memikul gaya angkat akibat momen guling.

15.6.2 Sambungan kolom

Sambungan kolom harus mempunyai kuat rencana minimum untuk memikul kuat perlu yang ditentukan pada Butir 15.6.1.

15.6.2.1 Sambungan yang menggunakan las sudut atau las tumpul penetrasi sebagian, tidak boleh berjarak kurang dari 1.200 mm dari sambungan balok-ke-kolom atau tidak boleh kurang dari setengah kali panjang bersih kolom dari sambungan balok-ke-kolom. Sambungan las kolom yang dibebani oleh gaya tarik netto akibat kombinasi beban (15.3-2) harus memenuhi kedua persyaratan berikut ini:

- 1) Sambungan las penetrasi sebagian harus mempunyai kuat rencana minimum sebesar 200% dari kuat perlu;
- 2) Kuat perlu minimum dari setiap pelat sayap adalah $R_y f_y A_f$, dengan $R_y f_y$ adalah tegangan leleh yang dapat terjadi dari bahan baja kolom dan A_f adalah luas pelat sayap kolom yang terkecil pada sambungan yang ditinjau.

- 15.6.2.2 Persyaratan transisi sambungan secara gradual tidak harus dipenuhi apabila perubahan tebal dan lebar pelat sayap dan pelat badan terjadi pada sambungan kolom yang mana sambungan las tumpul penetrasi sebagian diijinkan sesuai dengan Butir 15.6.2.1.

15.7 Persyaratan untuk Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK)

15.7.1 Ruang lingkup

SRPMK diharapkan dapat mengalami deformasi inelastis yang besar apabila dibebani oleh gaya-gaya yang berasal dari beban gempa rencana. SRPMK harus memenuhi persyaratan pada Butir 15.7.

15.7.2 Sambungan balok-ke-kolom

- 15.7.2.1 Perencanaan semua sambungan balok-ke-kolom yang digunakan pada Sistem Pemikul Beban Gempa harus didasarkan pada hasil-hasil pengujian kualifikasi yang menunjukkan rotasi inelastis sekurang-kurangnya 0,03 radian. Hasil-hasil pengujian kualifikasi didapat terhadap sekurang-kurangnya dari dua pengujian siklik dan diijinkan berdasarkan salah satu dari dua persyaratan berikut ini:

- a) Laporan penelitian atau laporan pengujian yang dilakukan untuk sambungan yang serupa dengan yang sedang direncanakan untuk suatu proyek;
- b) Pengujian yang dilakukan khusus untuk sambungan yang sedang direncanakan untuk suatu proyek dan cukup mewakili ukuran-ukuran komponen struktur, kekuatan bahan, konfigurasi sambungan, dan urutan pelaksanaan pada proyek tersebut.

Interpolasi atau ekstrapolasi dari hasil-hasil pengujian dengan ukuran-ukuran komponen struktur yang berbeda-beda harus dilakukan menggunakan analisis rasional yang memperlihatkan distribusi tegangan dan besar gaya-gaya-dalam yang konsisten terhadap model uji sambungan dan dengan memperhatikan pengaruh negatif dari ukuran bahan dan ketebalan las yang lebih besar serta variasi dari sifat-sifat bahan. Ekstrapolasi dari hasil-hasil pengujian harus didasarkan pada kombinasi serupa dari komponen struktur.

Sambungan yang sebenarnya harus dibuat menggunakan bahan, konfigurasi, proses, dan kendali kualitas demikian sehingga dapat menjamin keserupaannya dengan model uji sambungan. Balok-balok dengan hasil pengujian tegangan leleh kurang dari 85% f_{ye} tidak boleh digunakan dalam pengujian kualifikasi.

- 15.7.2.2 Pengujian sambungan balok-ke-kolom harus memperlihatkan kuat lentur, yang diukur di muka kolom, sekurang-kurangnya sama dengan momen plastis nominal balok M_p pada saat terjadinya rotasi inelastis yang disyaratkan, kecuali bila:
- Kuat lentur balok lebih ditentukan oleh tekuk lokal daripada oleh tegangan leleh bahan, atau bila sambungan menghubungkan balok dengan penampang melintang yang direduksi maka kuat lentur minimumnya sama dengan $0,8 M_p$ dari balok pada pengujian;
 - Sambungan-sambungan yang memungkinkan terjadinya rotasi dari komponen struktur yang tersambung dapat diijinkan, selama dapat ditunjukkan menggunakan analisis yang rasional bahwa tambahan simpangan antar lantai yang disebabkan oleh deformasi sambungan dapat diakomodasikan oleh struktur bangunan. Analisis rasional yang dilakukan harus memperhitungkan stabilitas sistem rangka secara keseluruhan dengan memperhatikan pengaruh orde kedua.
- 15.7.2.3 Gaya geser terfaktor, V_u , sambungan balok-ke-kolom harus ditentukan menggunakan kombinasi beban $1,2D+0,5L$ ditambah dengan gaya geser yang dihasilkan dari bekerjanya momen lentur sebesar $1,1R_y f_y Z$ pada arah yang berlawanan pada masing-masing ujung balok. Sebagai alternatif, nilai V_u yang lebih kecil dapat digunakan selama dapat dibuktikan menggunakan analisis yang rasional. Gaya geser terfaktor tidak perlu lebih besar daripada gaya geser yang dihasilkan oleh kombinasi pembebanan (15.3-1).

15.7.3 Daerah panel pada sambungan balok-ke-kolom (Badan balok sebidang dengan badan kolom)

- 15.7.3.1 Kuat Geser: Gaya geser terfaktor V_u pada daerah panel ditentukan berdasarkan momen lentur balok sesuai dengan kombinasi pembebanan (15.3-1) dan (15.3-2). Namun, V_u tidak perlu melebihi gaya geser yang ditetapkan berdasarkan $0,8 \sum R_y M_p$ dari balok-balok yang merangka pada sayap kolom disambungan. Kuat geser rencana $\phi_v V_n$ panel ditentukan menggunakan persamaan berikut:

$$\text{Bila } N_u \leq 0,75 N_y, \phi_v V_n = 0,6 \phi_v f_y d_c t_p \left[1 + \frac{3 b_{cf} t_{cf}^2}{d_b d_c t_p} \right] \quad (15.7-1)$$

$$\text{Bila } N_u > 0,75N_y, \phi_v V_n = 0,6\phi_v f_y d_c t_p \left[1 + \frac{3b_{cf} t_{cf}^2}{d_b d_c t_p} \right] \left[1,9 - \frac{1,2N_u}{N_y} \right] \quad (15.7-2)$$

dengan $\phi_v = 0,75$.

Keterangan:

- t_p adalah tebal total daerah panel, termasuk pelat pengganda, mm
 d_c adalah tinggi keseluruhan penampang kolom, mm
 b_{cf} adalah lebar sayap kolom, mm
 t_{cf} adalah ketebalan dari sayap kolom, mm
 d_b adalah tinggi bruto penampang balok, mm
 f_y adalah tegangan leleh bahan baja pada daerah panel, MPa

- 15.7.3.2 Tebal Daerah Panel: Ketebalan masing-masing pelat badan penampang kolom atau pelat pengganda pada daerah panel, ditetapkan menurut persamaan berikut:

$$t \geq (d_z + w_z) / 90 \quad (15.7-3)$$

Keterangan:

- t adalah tebal pelat badan penampang kolom atau pelat pengganda pada daerah panel, mm
 d_z adalah tinggi daerah panel di antara pelat terusan, mm
 w_z adalah lebar daerah panel di antara kedua sayap kolom, mm

Sebagai alternatif, apabila tekuk lokal pada pelat badan penampang kolom dan pelat pengganda dicegah menggunakan las sumbat maka tebal total daerah panel harus memenuhi persamaan (15.7-3).

- 15.7.3.3 Pelat-pelat Pengganda pada Daerah Panel: Pelat-pelat pengganda harus dilas kepada pelat-pelat sayap kolom menggunakan las tumpul penuh atau las sudut untuk mengembangkan kuat geser rencana dari seluruh tebal pelat pengganda. Bila pelat pengganda dipasang menempel pada pelat badan penampang kolom maka sisi-sisi atas dan bawah pelat pengganda harus dilas terhadap pelat badan penampang kolom sehingga dapat memikul bagian dari gaya-gaya yang dipindahkan kepada pelat pengganda. Bila pelat pengganda dipasang tidak menempel pada pelat badan penampang kolom maka pelat pengganda harus dipasang berpasangan secara simetris dan dilas kepada pelat terusan sehingga dapat memikul bagian gaya yang dipindahkan kepada pelat pengganda.

15.7.4 Batasan-batasan terhadap balok dan kolom

- 15.7.4.1 Luas Sayap Balok: Tidak diperkenankan terjadi perubahan luas sayap balok yang mendadak pada daerah sendi plastis. Pembuatan lubang dan pengguntingan lebar pelat sayap dapat diijinkan selama pengujian memperlihatkan bahwa konfigurasi ini tetap dapat mengembangkan sendi-sendi plastis yang disyaratkan pada Butir 15.7.2.2.
- 15.7.4.2 Rasio Lebar terhadap Tebal: Balok-balok harus memenuhi persyaratan λ_p pada Tabel 15.7-1. Apabila perbandingan pada persamaan (15.7-4) lebih kecil atau sama dengan 1,25, kolom-kolom harus memenuhi persyaratan λ_p pada Tabel 15.7-1. Bila hal-hal tersebut tidak dipenuhi maka kolom-kolom harus memenuhi persyaratan λ_p pada Tabel 7.5-1.

15.7.5 Pelat terusan

Pelat terusan perlu diadakan sesuai dengan model uji sambungan.

15.7.6 Perbandingan momen kolom terhadap momen balok

Hubungan berikut ini harus dipenuhi pada sambungan balok-ke-kolom:

$$\frac{\sum M_{pc}^*}{\sum M_{pb}^*} > 1 \quad (15.7-4)$$

Keterangan:

- $\sum M_{pc}^*$ adalah jumlah momen-momen kolom di bawah dan di atas sambungan pada pertemuan antara as kolom dan as balok. $\sum M_{pc}^*$ ditentukan dengan menjumlahkan proyeksi kuat lentur nominal kolom, termasuk voute bila ada, di atas dan di bawah sambungan pada as balok dengan reduksi akibat gaya aksial tekan kolom. Diperkenankan untuk mengambil $\sum M_{pc}^* = \sum Z_c (f_{yc} - N_{uc} / A_g)$. Bila as balok-balok yang bertemu di sambungan tidak membentuk satu titik maka titik tengahnya dapat digunakan dalam perhitungan
- $\sum M_{pb}^*$ adalah jumlah momen-momen balok-balok pada pertemuan as balok dan as kolom. $\sum M_{pb}^*$ ditentukan dengan menjumlahkan proyeksi kuat lentur nominal balok di daerah sendi plastis pada as kolom. Diperkenankan untuk mengambil $\sum M_{pb}^* = \sum (1,1R_y M_p + M_y)$, dengan M_y

adalah momen tambahan akibat amplifikasi gaya geser dari lokasi sendi plastis ke as kolom. Sebagai alternatif, diperkenankan untuk menentukan $\sum M_{pb}^*$ dari hasil pengujian sesuai dengan persyaratan pada Butir 15.7.2.1 atau dengan analisis rasional berdasarkan pengujian. Bila sambungan dibuat menggunakan penampang balok yang direduksi maka diperkenankan untuk mengambil $\sum M_{pb}^* = \sum (1,1R_y f_y Z + M_y)$, dengan Z adalah modulus plastis minimum pada penampang balok yang direduksi

| | |
|----------|---|
| A_g | adalah luas penampang bruto kolom, mm^2 |
| f_{yc} | adalah tegangan leleh penampang kolom, MPa |
| N_{uc} | adalah gaya aksial tekan terfaktor pada kolom, N |
| Z_c | adalah modulus plastis penampang kolom, mm^3 |

Bila kolom-kolom memenuhi persyaratan pada Butir 15.7.4 maka persyaratan di atas tidak harus dipenuhi untuk kasus-kasus di bawah ini:

15.7.6.1 Kolom-kolom dengan $N_{uc} < 0,3f_{yc}A_g$ untuk semua kombinasi pembebanan kecuali yang ditentukan oleh persamaan (15.3-1) dan persamaan (15.3-2) dan memenuhi salah satu dari dua syarat berikut ini:

- 1) Kolom-kolom pada bangunan satu tingkat atau ditingkat yang tertinggi dari bangunan bertingkat tinggi;
- 2) Kolom-kolom dengan: (a) jumlah kuat geser rencana dari kolom-kolom yang bukan merupakan bagian dari sistem pemikul gaya gempa di suatu tingkat kurang daripada 20% dari gaya geser tingkat terfaktor; dan (b) jumlah kuat geser rencana dari kolom-kolom yang bukan merupakan bagian dari sistem pemikul gaya gempa dalam suatu bidang kolom di suatu tingkat kurang daripada 33% dari gaya geser tingkat terfaktor pada bidang kolom tersebut. Bidang kolom adalah suatu bidang yang mengandung kolom-kolom atau bidang-bidang paralel yang mengandung kolom-kolom dengan jarak antar bidang-bidang tersebut tidak lebih daripada 10% dari dimensi tapak bangunan tegak lurus bidang tersebut.

15.7.6.2 Kolom-kolom pada suatu tingkat dengan perbandingan kuat geser rencana terhadap gaya geser tingkat terfaktor adalah 50% lebih besar daripada perbandingan tersebut untuk tingkat di atasnya.

15.7.7 Kekangan pada sambungan balok-ke-kolom

15.7.7.1 Kekangan sambungan:

- 1) Sayap-sayap kolom pada sambungan balok-ke-kolom perlu dikekang secara lateral hanya pada daerah sayap atas balok bila suatu kolom dapat ditunjukkan tetap berada dalam keadaan elastis di luar daerah panel menggunakan salah satu dari dua kriteria di bawah ini:
 - (a) Persamaan (15.7-4) memberikan hasil lebih besar dari 1,25;
 - (b) Suatu kolom tetap bersifat elastis akibat kombinasi pembebanan (15.3-1) dan (15.3-2).
- 2) Bila suatu kolom tidak dapat ditunjukkan masih bersifat elastis di luar daerah panel maka persyaratan berikut ini harus dipenuhi:
 - (a) Sayap-sayap kolom dikekang secara lateral pada kedua sisi atas dan sisi bawah sayap balok;
 - (b) Setiap pengeang lateral pelat sayap kolom direncanakan terhadap gaya terfaktor sebesar 2,0% dari kuat nominal satu sayap balok ($f_y b_f t_{bf}$);
 - (c) Sayap-sayap kolom dikekang secara lateral dengan cara langsung atau tidak langsung yaitu melalui pelat badan kolom atau melalui pelat-pelat sayap balok.

15.7.7.2 Sambungan tanpa Pengekang Lateral: Suatu kolom dengan sambungan balok-ke-kolom tanpa pengeang lateral keluar bidang sistem rangka pemikul gaya gempa perlu direncanakan dengan menganggap tinggi kolom sebesar jarak dari kekangan lateral yang berdekatan dalam analisis tekuk keluar bidang sistem rangka pemikul gempa dan perlu memenuhi ketentuan mengenai komponen struktur dengan beban kombinasi dan torsi, kecuali bila:

- 1) Beban terfaktor pada kolom ditentukan dengan kombinasi beban $1,2D+0,5L \pm E$, dengan E adalah yang terkecil dari kedua nilai berikut ini:
 - (a) Beban gempa teramplifikasi sebesar $\Omega_0 E_h$;
 - (b) 125% dari kuat rencana rangka yang direncanakan berdasarkan kuat lentur rencana balok atau kuat geser rencana daerah panel.
- 2) Nilai L/r kolom tersebut tidak melampaui 60;
- 3) Kuat lentur perlu kolom keluar bidang sistem rangka pemikul gaya gempa harus mencakup momen yang diakibatkan oleh gaya pada sayap balok yang ditetapkan pada Butir 15.7.7.1(2.b) ditambah dengan pengaruh momen orde kedua akibat simpangan sayap kolom.

15.7.8 Pengekang lateral pada balok

Kedua pelat sayap balok harus dikekang secara lateral dengan cara langsung atau tak langsung. Panjang daerah yang tak terkekang secara lateral tidak boleh melampaui $17.500r_y / f_y$. Sebagai tambahan, pengekang lateral harus dipasang dekat titik tangkap beban-beban terpusat, perubahan penampang, dan lokasi-lokasi lainnya yang mana analisis menunjukkan kemungkinan terbentuknya sendi plastis pada saat terjadinya deformasi inelastis pada SRPMK.

15.8 Persyaratan untuk Sistem Rangka Pemikul Momen Terbatas (SRPMT)

15.8.1 Ruang lingkup

SRPMT diharapkan dapat mengalami deformasi inelastis secara moderat akibat gaya gempa rencana. SRPMT harus memenuhi persyaratan pada butir ini dan harus direncanakan sedemikian rupa sehingga deformasi inelastis akibat beban gempa rencana terakomodasi dengan tercapainya pelelehan pada komponen struktur untuk rangka dengan sambungan kaku, atau tercapainya pelelehan pada sambungan untuk rangka dengan sambungan semi kaku.

SRPMT harus memenuhi semua persyaratan untuk SRPMK pada Butir 15.7 kecuali untuk beberapa persyaratan yang berubah yang diberikan pada Butir 15.8.2, 15.8.3 dan 15.8.4 berikut:

15.8.2 Sambungan balok-ke-kolom

- 15.8.2.1 Perencanaan semua sambungan balok-ke-kolom yang digunakan pada Sistem Pemikul Beban Gempa harus didasarkan pada hasil-hasil pengujian kualifikasi yang menunjukkan rotasi inelastis sekurang-kurangnya 0,02 radian. Hasil-hasil pengujian kualifikasi didapat terhadap sekurang-kurangnya dari dua pengujian siklik dan harus memenuhi persyaratan pada Butir 15.7.2.1.
- 15.8.2.2 Pengujian sambungan balok-ke-kolom harus memperlihatkan kuat lentur, yang diukur di muka kolom, sekurang-kurangnya sama dengan momen plastis nominal balok M_p pada saat terjadinya rotasi inelastis yang disyaratkan, kecuali bila:
 - a) Kuat lentur balok lebih ditentukan oleh tekuk lokal daripada oleh tegangan leleh bahan, atau bila sambungan menghubungkan balok dengan penampang melintang yang direduksi maka kuat lentur minimumnya sama dengan $0,8M_p$ dari balok pada pengujian;

- b) Sambungan-sambungan yang memungkinkan terjadinya rotasi dari komponen struktur yang tersambung dapat diijinkan, selama dapat ditunjukkan menggunakan analisis yang rasional bahwa tambahan simpangan antar lantai yang disebabkan oleh deformasi sambungan dapat diakomodasikan oleh struktur bangunan. Analisis rasional yang dilakukan harus memperhitungkan stabilitas sistem rangka secara keseluruhan dengan memperhatikan pengaruh orde kedua.

15.8.3 Batasan-batasan terhadap balok dan kolom

- 15.8.3.1 Rasio Lebar terhadap Tebal: Balok-balok harus memenuhi persyaratan λ_p pada Tabel 7.5-1. Apabila perbandingan pada persamaan (15.7-4) adalah lebih kecil atau sama dengan 1,25, kolom-kolom harus memenuhi persyaratan λ_p pada Tabel 15.7-1. Bila hal-hal tersebut tidak dipenuhi maka kolom-kolom harus memenuhi persyaratan λ_p pada Tabel 7.5-1.

15.8.4 Pengekang lateral pada balok

Kedua pelat sayap dari balok harus dikekang secara lateral dengan cara langsung atau tak langsung. Panjang daerah yang tak terkekang secara lateral tidak boleh melampaui $25.250r_y / f_y$. Sebagai tambahan, pengekang lateral harus dipasang dekat titik tangkap beban-beban terpusat, perubahan penampang, dan lokasi-lokasi lainnya yang mana menunjukkan kemungkinan terbentuknya sendi plastis pada saat terjadinya deformasi inelastis pada SRPMT.

15.9 Persyaratan untuk Sistem Rangka Pemikul Momen Biasa (SRPMB)

15.9.1 Ruang lingkup

SRPMB diharapkan dapat mengalami deformasi inelastis secara terbatas pada komponen struktur dan sambungan-sambungannya akibat gaya gempa rencana. SRPMB harus memenuhi persyaratan pada butir-butir di bawah ini.

15.9.2 Sambungan balok-ke-kolom

- 15.9.2.1 Sambungan balok-ke-kolom harus menggunakan las atau baut mutu tinggi. Dapat digunakan sambungan kaku atau sambungan semi kaku sebagai berikut:
- a) Sambungan kaku yang merupakan bagian dari Sistem Pemikul Beban Gempa harus mempunyai kuat lentur perlu M_u yang

besarnya paling tidak sama dengan yang terkecil dari a) $1,1R_y M_p$ balok atau gelagar, atau b) momen terbesar yang dapat disalurkan oleh sistem rangka pada titik tersebut. Untuk sambungan dengan sambungan pelat sayap yang dilas, pelapis las dan kelebihan las harus dibuang dan diperbaiki kecuali pelapis pelat sayap atas yang tetap diperbolehkan jika melekat pada pelat sayap kolom dengan las sudut menerus di bawah las tumpul sambungan penetrasi penuh. Las tumpul penetrasi sebagian dan las sudut tidak boleh digunakan untuk memikul gaya tarik pada sambungan;

Sebagai alternatif, perencanaan dari semua sambungan balok-ke-kolom yang digunakan pada Sistem Pemikul Beban Gempa harus didasarkan pada hasil-hasil pengujian kualifikasi yang menunjukkan rotasi inelastis sekurang-kurangnya 0,01 radian. Hasil-hasil pengujian kualifikasi didapat terhadap sekurang-kurangnya dari dua pengujian siklik dan harus memenuhi persyaratan pada Butir 15.7.2.1;

- b) Sambungan semi kaku diizinkan jika syarat-syarat di bawah ini dipenuhi:
- (i) Sambungan tersebut harus memenuhi kekuatan yang dipersyaratkan pada Butir 15.1;
 - (ii) Kuat lentur nominal sambungan melebihi nilai yang lebih kecil daripada 50% M_p balok atau kolom yang disambungkan;
 - (iii) Harus mempunyai kapasitas rotasi yang dibuktikan dengan uji beban siklik sebesar yang dibutuhkan untuk mencapai simpangan antar lantai;
 - (iv) Kekakuan dan kekuatan sambungan semi kaku ini harus diperhitungkan dalam perencanaan, termasuk dalam perhitungan stabilitas rangka secara keseluruhan.

15.9.2.2 Untuk sambungan kaku, gaya geser terfaktor V_u pada sambungan balok-ke-kolom harus ditetapkan berdasarkan kombinasi pembebanan $1,2 D + 0,5 L$ ditambah gaya geser yang berasal dari M_u seperti yang ditentukan pada Butir 15.9.2.1(a). Untuk sambungan semi kaku, V_u harus ditentukan berdasarkan kombinasi pembebanan di atas ditambah dengan gaya geser yang berasal dari momen ujung maksimum yang dapat dipikul oleh sambungan tersebut.

15.9.3 Pelat terusan

Jika sambungan momen penuh dibuat dengan melas pelat sayap balok atau pelat sambungan untuk sayap balok secara langsung ke pelat sayap kolom maka harus digunakan pelat terusan untuk meneruskan

gaya dari pelat sayap balok ke pelat badan kolom. Pelat ini harus mempunyai ketebalan minimum sebesar tebal pelat sayap balok atau pelat sambungan sayap balok. Sambungan pelat terusan ke pelat sayap kolom harus dilakukan dengan las tumpul penetrasi penuh, atau las tumpul penetrasi sebagian dari kedua sisi yang diperkuat dengan las sudut, atau las sudut di kedua sisi dan harus mempunyai kekuatan sama dengan kuat rencana luas bidang kontak antara pelat terusan dengan pelat sayap kolom. Sambungan pelat terusan ke pelat badan kolom harus mempunyai kuat geser rencana sama dengan yang terkecil dari persyaratan berikut:

- a) Jumlah kuat rencana dari sambungan pelat terusan ke pelat sayap kolom;
- b) Kuat geser rencana bidang kontak pelat terusan dengan pelat badan kolom;
- c) Kuat rencana geser daerah panel;
- d) Gaya sesungguhnya yang diteruskan oleh pengaku.

Pelat terusan tidak diperlukan jika model uji sambungan menunjukkan bahwa rotasi plastis yang direncanakan dapat dicapai tanpa menggunakan pelat terusan tersebut.

15.10 Persyaratan untuk Sistem Rangka Batang Pemikul Momen Khusus (SRBPMK)

15.10.1 Ruang Lingkup

SRBPMK adalah suatu struktur rangka batang pemikul momen yang dipasang secara horizontal. Pada SRBPMK ada suatu segmen khusus yang terdiri dari beberapa panel dengan batang-batangnya direncanakan secara khusus. SRBPMK direncanakan mengalami deformasi inelastis yang cukup besar pada segmen khusus saat memikul gaya-gaya akibat beban gempa rencana. Jarak antar kolom pada SRBPMK dibatasi tidak lebih dari 20 meter dan tinggi keseluruhan tidak lebih dari 2 meter. Kolom-kolom dan segmen lainnya selain segmen khusus harus direncanakan untuk tetap dalam keadaan elastis akibat gaya-gaya yang dihasilkan oleh segmen khusus pada saat mengalami pelelehan penuh hingga tahap perkerasan regangan. SRBPMK harus memenuhi ketentuan di bawah ini.

15.10.2 Segmen khusus

Setiap rangka batang horizontal yang menjadi bagian dari Sistem Pemikul Beban Gempa harus mempunyai segmen khusus di bagian tengah rangka batang. Panjang segmen khusus harus berada di antara 0,1 dan 0,5 kali panjang bentang rangka batang. Perbandingan

panjang terhadap tinggi setiap panel dari segmen khusus ini tidak boleh lebih besar dari 1,5 dan tidak boleh lebih kecil dari 0,67.

Panel-panel dari segmen khusus harus berupa panel Vierendeel atau panel bresing jenis X. Kombinasi antara keduanya atau konfigurasi bresing lainnya tidak diizinkan. Jika batang diagonal digunakan dalam segmen khusus maka harus diatur dalam pola berbentuk X yang dipisahkan oleh komponen struktur vertikal. Batang diagonal ini harus disambung ditempat persilangannya. Kuat rencana sambungan ini harus mampu memikul gaya paling tidak sama dengan 0,25 kali kuat tarik nominal batang diagonal. Sambungan baut tidak boleh digunakan untuk batang diagonal pada segmen khusus.

Sambungan tidak boleh berada pada batang tepi atas dan tepi bawah pada segmen khusus. Sambungan juga tidak boleh berada pada daerah setengah panel dari ujung-ujung segmen khusus. Gaya-gaya aksial pada batang diagonal pada segmen khusus akibat beban mati dan beban hidup terfaktor tidak boleh melebihi $0,03 f_y A_g$.

15.10.3 Kuat nominal batang pada segmen khusus

Pada pelelehan penuh, segmen khusus mengerahkan kuat geser nominal vertikal dari kuat nominal lentur batang-batang tepi dan melalui kuat aksial tarik dan tekan nominal batang diagonal. Batang-batang tepi bawah dan atas harus dibuat dari penampang prismatis dan harus memberikan paling tidak 25% gaya geser vertikal yang dibutuhkan dalam keadaan pelelehan penuh. Gaya aksial terfaktor yang bekerja pada batang-batang tepi tidak boleh melampaui $0,45\phi f_y A_g$, dengan $\phi = 0,9$. Batang diagonal pada setiap panel pada segmen khusus ini harus dibuat dari penampang yang sama ukurannya. Sambungan ujung batang diagonal pada segmen khusus harus mempunyai kuat rencana paling tidak sama dengan kuat tarik aksial nominal batang diagonal, $R_y f_y A_g$.

15.10.4 Kuat nominal batang bukan segmen khusus

Semua batang dan sambungan pada SRBPMK, kecuali pada segmen khusus seperti pada Butir 15.10.2, harus memiliki kuat rencana untuk memikul kombinasi pembebanan (6.2-4), (6.2-5), dan (6.2-6) serta beban lateral yang diperlukan untuk memobilisasi kuat geser nominal vertikal pada setiap segmen, V_{ne} , seperti berikut ini:

$$V_{ne} = 3,75 R_y M_{nc} / L_s + 0,075 EI (L - L_s) / L_s^3 + R_y (N_{nt} + 0,3 N_{nc}) \sin \alpha \quad (15.10 -1)$$

Keterangan:

R_y adalah faktor modifikasi tegangan leleh sesuai Butir 15.5.2
 M_{nc} adalah kuat lentur nominal batang tepi pada segmen khusus

| | |
|----------|---|
| EI | adalah kekakuan lentur elastis batang tepi segmen khusus |
| L | adalah panjang bentang SRBPMK |
| L_s | adalah panjang segmen khusus |
| N_{nt} | adalah kuat tarik aksial nominal batang diagonal pada segmen khusus |
| N_{nc} | adalah kuat tekan aksial nominal batang diagonal pada segmen khusus |
| α | adalah sudut antara batang diagonal dengan horizontal |

15.10.5 Kekompakan

Batang diagonal pada segmen khusus harus dibuat dari batang pelat dengan perbandingan lebar terhadap tebal lebih kecil atau sama dengan 2,5. Perbandingan lebar terhadap tebal batang-batang tepi tidak boleh melebihi nilai λ_p pada Tabel 15.7-1. Perbandingan lebar terhadap tebal penampang siku dan pelat sayap dan pelat badan penampang T yang dipakai untuk batang-batang tepi pada segmen khusus tidak boleh melebihi $135/\sqrt{f_y}$.

15.10.6 Bresing lateral

Batang tepi atas dan bawah dari SRBPMK harus dikekang secara lateral pada ujung-ujung segmen khusus, dan pada interval tidak melebihi L_p sesuai dengan Butir 7 standar ini di sepanjang bentang SRBPMK. Setiap bresing lateral pada ujung dan di dalam segmen khusus harus direncanakan mempunyai kuat rencana paling tidak 5% dari kuat tekan aksial nominal N_{nc} batang tepi pada segmen khusus. Bresing lateral di luar segmen khusus harus mempunyai kuat rencana paling tidak 2,5% dari kuat tekan nominal N_{nc} yang terbesar dari batang tepi yang berdekatan.

15.11 Persyaratan untuk sistem rangka bresing konsentrik khusus (SRBKK)

15.11.1 Ruang lingkup

SRBKK diharapkan dapat mengalami deformasi inelastis yang cukup besar akibat gaya gempa rencana. SRBKK memiliki tingkat daktilitas yang lebih tinggi daripada tingkat daktilitas Sistem Rangka Bresing Konsentrik Biasa (SRBKB) mengingat penurunan kekuatannya yang lebih kecil pada saat terjadinya tekuk pada batang bresing tekan. SRBKK harus memenuhi persyaratan-persyaratan di bawah ini:

15.11.2 Batang bresing

15.11.2.1 Kelangsingan batang bresing harus memenuhi syarat kelangsingan yaitu $\frac{k_c L}{r} \leq \frac{2.625}{\sqrt{f_y}}$.

15.11.2.2 Beban aksial terfaktor pada batang bresing tidak boleh melebihi $\phi_c N_n$.

15.11.2.3 Distribusi Beban Lateral: Pada bidang bresing, batang-batang bresing harus dipasang dengan arah selang-seling, sedemikian rupa sehingga pada masing-masing arah gaya lateral yang sejajar dengan bidang bresing, minimal 30% tapi tidak lebih dari 70% gaya horizontal total harus dipikul oleh batang bresing tarik, kecuali jika kuat nominal tekan N_n untuk setiap bresing lebih besar daripada beban terfaktor N_u sesuai dengan kombinasi pembebanan (15.3-1) dan (15.3-2). Bidang bresing adalah suatu bidang yang mengandung batang-batang bresing atau bidang-bidang paralel yang mengandung batang-batang bresing dengan jarak antar bidang-bidang tersebut tidak lebih dari 10% dimensi tapak bangunan tegak lurus bidang tersebut.

15.11.2.4 Perbandingan Lebar terhadap Tebal: Perbandingan lebar terhadap tebal penampang batang bresing tekan yang diperkaku ataupun yang tidak diperkaku harus memenuhi persyaratan dalam Tabel 7.5-1 dan persyaratan-persyaratan berikut ini:

- 1) Batang bresing harus bersifat kompak (yaitu $\lambda < \lambda_p$). Perbandingan lebar terhadap tebal untuk penampang siku tidak boleh lebih dari $135/\sqrt{f_y}$;
- 2) Penampang bulat berongga harus mempunyai perbandingan diameter luar terhadap tebal dinding sesuai dengan Tabel 15.7-1, kecuali jika dinding penampang tersebut diberi pengaku;
- 3) Penampang persegi berongga harus mempunyai perbandingan lebar terhadap tebal dinding sesuai dengan Tabel 15.7-1, kecuali jika dinding penampang tersebut diberi pengaku.

15.11.2.5 Batang Bresing Tersusun dengan Jahitan: Jarak antar jahitan pada batang bresing tersusun harus sedemikian rupa sehingga kelangsingan l/r dari setiap elemen yang berada di antara titik-titik jahitan tidak melebihi 0,4 kali kelangsingan batang bresing tersusun.

Kuat geser rencana total jahitan minimal sama dengan kuat tarik rencana masing-masing elemen dari batang bresing. Jarak antar jahitan harus seragam dan jumlah jahitan tidak kurang dari dua.

Jahitan yang menggunakan baut tidak boleh diletakkan di daerah $1/4$ bentang bersih batang bresing yang di tengah.

Pengecualian: Jika dapat dibuktikan bahwa batang bresing akan mengalami tekuk tanpa menyebabkan geser pada jahitan maka jarak antar jahitan harus sedemikian rupa sehingga kelangsingan l/r setiap elemen yang berada di antara jahitan tidak melebihi 0,75 kali kelangsingan maksimum batang bresing.

15.11.3 Sambungan batang bresing

15.11.3.1 Kuat Perlu: Kuat perlu sambungan bresing (termasuk dalam hal ini sambungan-sambungan balok-ke-kolom yang merupakan bagian dari sistem bresing) harus diambil sebagai nilai terkecil dari hal-hal berikut:

- a) Kuat nominal aksial tarik batang bresing yang ditetapkan sebesar $R_y f_y A_g$;
- b) Gaya maksimum, berdasarkan hasil analisis, yang dapat dipindahkan oleh sistem struktur ke batang bresing.

15.11.3.2 Kuat Tarik: Kuat tarik rencana batang-batang bresing dan sambungannya, berdasarkan kuat batas tarik fraktur pada luas neto penampang efektif dan kuat geser fraktur yang ditetapkan pada Butir 10, minimal sama dengan kuat perlu pada Butir 15.11.3.1.

15.11.3.3 Kuat Lentur: Pada bidang kritis di mana tekuk batang bresing akan terjadi maka kuat lentur rencana sambungan harus $\geq 1,1 R_y M_p$ (kuat lentur nominal yang diharapkan dari batang bresing terhadap sumbu tekuk kritisnya).

Pengecualian: Sambungan-sambungan batang bresing yang memenuhi persyaratan Butir 15.11.3.2, yang dapat mengakomodasi rotasi inelastis sehubungan dengan deformasi bresing pasca tekuk, dan yang mempunyai kuat rencana minimal sama dengan $A_g f_{cr}$ (kuat tekan nominal batang bresing), dapat digunakan.

15.11.3.4 Pelat Buhul: Perencanaan pelat buhul harus memperhitungkan pengaruh tekuk.

15.11.4 Persyaratan khusus untuk konfigurasi bresing khusus

15.11.4.1 Bresing Tipe V dan Tipe V Terbalik: Sistem rangka yang menggunakan bresing tipe V dan tipe V terbalik harus memenuhi persyaratan-persyaratan sebagai berikut:

- 1) Balok yang bersilangan dengan batang bresing harus menerus dari kolom-ke-kolom;

- 2) Balok yang bersilangan dengan batang bresing harus direncanakan untuk memikul pengaruh semua beban mati dan hidup berdasarkan kombinasi pembebanan persamaan (6.2-4), (6.2-2), dan (6.2-3), dengan menganggap bahwa batang bresing tidak ada;
- 3) Balok yang bersilangan dengan batang bresing harus direncanakan untuk memikul pengaruh kombinasi pembebanan (6.2-4) dan (6.2-5) kecuali bahwa beban Q_b harus disubstitusikan pada suku E . Q_b adalah pengaruh dari beban vertikal maksimum yang disebabkan oleh bertemunya batang bresing dengan balok. Q_b harus dihitung dengan menggunakan minimum sebesar N_y untuk bresing dalam tarik dan maksimum sebesar $0,3 \phi_c N_n$ untuk bresing tekan;
- 4) Sayap-sayap atas dan bawah balok pada titik persilangan dengan batang bresing harus direncanakan untuk memikul gaya lateral yang besarnya sama dengan 2% kuat nominal sayap balok $f_y b_f t_{bf}$.

Kekecualian: Persyaratan pada Butir 15.11.4.1(2) dan 15.11.4.1(3) di atas tidak berlaku untuk *penthouse*, bangunan bertingkat satu, atau tingkat tertinggi bangunan.

15.11.4.2 Bresing Tipe K: Bresing tipe K tidak diperkenankan digunakan pada SRBKK.

15.11.5 Kolom

Kolom pada SRBKK harus memenuhi persyaratan sebagai berikut:

- 15.11.5.1 Perbandingan Lebar terhadap Tebal: Perbandingan lebar terhadap tebal penampang kolom dalam tekan yang diberi pengaku ataupun yang tidak diberi pengaku, harus memenuhi persyaratan untuk batang bresing pada Butir 15.11.2.4.
- 15.11.5.2 Penyambungan: Selain harus memenuhi persyaratan-persyaratan pada Butir 15.6.2, penyambungan kolom pada SRBKK juga harus direncanakan untuk mampu memikul minimal kuat geser nominal dari kolom terkecil yang disambung dan 50% kuat lentur nominal penampang terkecil yang disambung. Penyambungan harus ditempatkan di daerah 1/3 tinggi bersih kolom yang di tengah.

15.12 Persyaratan untuk Sistem Rangka Bresing Konsentrik Biasa (SRBKB)

15.12.1 Ruang lingkup

SRBKB diharapkan dapat mengalami deformasi inelastis secara terbatas apabila dibebani oleh gaya-gaya yang berasal dari beban gempa rencana. SRBKB harus memenuhi persyaratan pada Butir 15.12 berikut ini.

15.12.2 Batang bresing

15.12.2.1 Kelangsingan: Batang bresing harus memenuhi syarat kelangsingan

$$\frac{k_c L}{r} \leq \frac{1.900}{\sqrt{f_y}}, \text{ kecuali sesuai dengan yang diizinkan pada Butir}$$

15.12.5.

15.12.2.2 Beban aksial terfaktor pada batang bresing tidak boleh melebihi $0,8\phi_c N_n$.

15.12.2.3 Distribusi Beban Lateral: Pada bidang bresing, batang-batang bresing harus dipasang dengan arah selang-seling, sedemikian rupa sehingga pada masing-masing arah gaya lateral yang sejajar dengan bidang bresing, minimal 30% tapi tidak lebih dari 70% gaya horizontal total harus dipikul oleh batang bresing tarik, kecuali jika kuat nominal tekan N_n untuk setiap batang bresing lebih besar daripada beban terfaktor N_u sesuai dengan kombinasi pembebanan (15.3-1) dan (15.3-2). Bidang bresing adalah suatu bidang yang mengandung batang-batang bresing atau bidang-bidang paralel yang mengandung batang-batang bresing di mana jarak antar bidang-bidang tersebut tidak lebih daripada 10% dari dimensi tapak bangunan tegak lurus bidang tersebut.

15.12.2.4 Perbandingan Lebar terhadap Tebal: Perbandingan lebar terhadap tebal penampang batang bresing tekan yang diperkaku ataupun yang tidak diperkaku harus memenuhi persyaratan-persyaratan dalam Tabel 7.5-1 dan persyaratan-persyaratan berikut ini:

- 1) Batang bresing harus bersifat kompak atau tidak kompak, tetapi tidak langsing ($\lambda < \lambda_r$). Perbandingan lebar terhadap tebal untuk penampang siku tidak boleh lebih dari $135/\sqrt{f_y}$;
- 2) Penampang bulat berongga harus mempunyai perbandingan diameter luar terhadap tebal dinding sesuai dengan Tabel 15.7-1, kecuali jika dinding penampang tersebut diberi pengaku;
- 3) Penampang persegi berongga harus mempunyai perbandingan lebar terhadap tebal dinding sesuai dengan Tabel 15.7-1, kecuali jika dinding penampang tersebut diberi pengaku.

15.12.2.5 Batang Bresing Tersusun dengan Jahitan: Untuk semua batang bresing tersusun, jahitan pertama dari baut atau las pada setiap sisi dari tengah batang tersusun harus direncanakan untuk meneruskan

gaya yang besarnya sama dengan 50% kuat nominal satu elemen. Jumlah jahitan haruslah tidak kurang dari dua dan dipasang dengan jarak (spasi) yang sama terhadap titik tengah batang bresing.

15.12.3 Sambungan batang bresing

15.12.3.1 Kuat Perlu: Kuat perlu sambungan bresing (termasuk dalam hal ini sambungan-sambungan balok-ke-kolom yang merupakan bagian dari sistem bresing) haruslah diambil sebagai nilai terkecil dari hal-hal berikut:

- a) Kuat nominal aksial tarik batang bresing yang ditetapkan sebesar $R_y f_y A_g$;
- b) Gaya pada bresing akibat kombinasi pembebanan (15.3-1) dan (15.3-2), dan gaya pada batang bresing yang merupakan hasil dari kombinasi pembebanan (15.3-1) dan (15.3-2);
- c) Gaya maksimum, berdasarkan hasil analisis, yang dapat dipindahkan oleh sistem struktur ke batang bresing.

15.12.3.2 Kuat Tarik: Kuat tarik rencana batang-batang bresing dan sambungannya, berdasarkan kuat batas tarik fraktur pada luas bersih penampang efektif dan kuat geser fraktur yang ditetapkan pada Butir 10, minimal sama dengan kuat perlu pada Butir 15.12.3.1.

15.12.3.3 Kuat Lentur: Pada bidang kritis di mana tekuk batang bresing akan terjadi maka kuat lentur rencana sambungan harus $\geq 1,1 R_y M_p$ (kuat lentur nominal yang diharapkan dari batang bresing terhadap sumbu tekuk kritisnya).

Pengecualian: Sambungan-sambungan batang bresing yang memenuhi persyaratan Butir 15.12.3.2, yang dapat mengakomodasi rotasi inelastis sehubungan dengan deformasi bresing pasca tekuk, dan yang mempunyai kuat rencana minimal sama dengan $A_g f_{cr}$ (kuat tekan nominal batang bresing), dapat digunakan.

15.12.3.4 Pelat Buhul: Perencanaan pelat buhul harus memperhitungkan pengaruh tekuk.

15.12.4 Persyaratan khusus untuk konfigurasi bresing

15.12.4.1 Bresing Tipe V dan Tipe V Terbalik: Sistem rangka yang menggunakan bresing tipe V dan tipe V terbalik harus memenuhi persyaratan-persyaratan sebagai berikut:

- 1) Kuat rencana batang bresing minimal 1,5 kali beban terfaktor berdasarkan kombinasi pembebanan (6.2-4), (6.2-5), dan (6.2-6);

- 2) Balok yang bersilangan dengan batang bresing harus menerus dari kolom-ke-kolom;
- 3) Balok yang bersilangan dengan batang bresing harus direncanakan untuk memikul pengaruh semua beban mati dan hidup berdasarkan kombinasi pembebanan (6.2-1) dan (6.2-2), dengan menganggap bahwa batang bresing tidak ada;
- 4) Sayap-sayap atas dan bawah balok pada titik persilangan dengan batang bresing harus direncanakan mampu memikul gaya lateral yang besarnya sama dengan 2% kuat nominal sayap balok $f_y b_f t_{bf}$.

15.12.4.2 Bresing Tipe K: Bangunan dengan menggunakan bresing tipe K tidak diperkenankan kecuali bila memenuhi persyaratan pada Butir 15.12.5.

15.12.5 Bangunan-bangunan rendah

Jika digunakan kombinasi pembebanan (6.2-1) dan (6.2-2) dalam menentukan kuat perlu komponen-komponen struktur dan sambungan maka diijinkan untuk merencanakan SRBKB pada struktur atap dan bangunan dua tingkat atau kurang tanpa persyaratan khusus pada Butir 15.12.2 sampai dengan Butir 15.12.4.

15.13 Persyaratan untuk Sistem Rangka Bresing Eksentrik (SRBE)

15.13.1 Ruang lingkup

Pada SRBE ada suatu bagian dari balok yang disebut Link dan direncanakan secara khusus. SRBE diharapkan dapat mengalami deformasi inelastis yang cukup besar pada Link saat memikul gaya-gaya akibat beban gempa rencana. Kolom-kolom, batang bresing, dan bagian dari balok di luar Link harus direncanakan untuk tetap dalam keadaan elastis akibat gaya-gaya yang dihasilkan oleh Link pada saat mengalami pelelehan penuh hingga tahap perkerasan regangan kecuali bila diatur lain dalam Butir 15.13. SRBE harus memenuhi ketentuan di bawah ini.

15.13.2 Link

Link adalah bagian dari balok yang direncanakan untuk mendisipasi energi pada saat terjadi gempa kuat.

- 15.13.2.1 Link harus memenuhi perbandingan lebar terhadap tebal sesuai dengan Tabel 15.7-1.
- 15.13.2.2 Tegangan leleh bahan baja yang digunakan pada Link tidak boleh melebihi 350 MPa.
- 15.13.2.3 Pelat badan dari Link harus berupa pelat tunggal tanpa pelat pengganda dan tanpa penetrasi.
- 15.13.2.4 Kecuali diatur pada Butir 15.13.2.6, kuat geser rencana Link, ϕV_n , harus lebih besar daripada kuat geser perlu V_u , dengan:
- $$V_n = \text{kuat geser nominal Link, diambil yang terkecil dari } V_p \text{ atau } 2M_p / e$$
- $$V_p = 0,6 f_y (d - 2t_f) t_w$$
- $$\phi = 0,9$$
- e adalah panjang Link.
- 15.13.2.5 Apabila beban aksial terfaktor pada Link, N_u , tidak melebihi $0,15N_y$, dengan $N_y = A_g f_y$, pengaruh gaya aksial pada kuat geser rencana Link tidak perlu diperhitungkan.
- 15.13.2.6 Apabila beban terfaktor pada Link, N_u , melebihi $0,15N_y$, ketentuan tambahan berikut ini harus dipenuhi:
- 1) Kuat geser rencana Link harus ditentukan sebagai nilai terkecil dari ϕV_{pa} atau $2\phi M_{pa} / e$, dengan:

$$V_{pa} = V_p \sqrt{1 - (N_u / N_y)^2}$$

$$M_{pa} = 1,18 M_p [1 - (N_u / N_y)]$$

$$\phi = 0,9$$
 - 2) Panjang Link tidak boleh melebihi:

$$\left[1,15 - 0,5\rho' (A_w / A_g) \right] 1,6 M_p / V_p \quad \text{untuk } \rho' (A_w / A_g) \geq 0,3$$

$$1,6 M_p / V_p \quad \text{untuk } \rho' (A_w / A_g) < 0,3$$

dengan,

$$A_w = (d_b - 2t_f) t_w$$

$$\rho' = N_u / V_u$$
- 15.13.2.7 Sudut Rotasi Link adalah sudut inelastis antara Link dan bagian balok di luar Link pada saat simpangan antar lantai sama dengan simpangan antar lantai rencana, Δ_M . Sudut Rotasi Link tidak boleh melebihi harga-harga berikut:
- 1) 0,08 radian untuk $e \leq 1,6 M_p / V_p$;

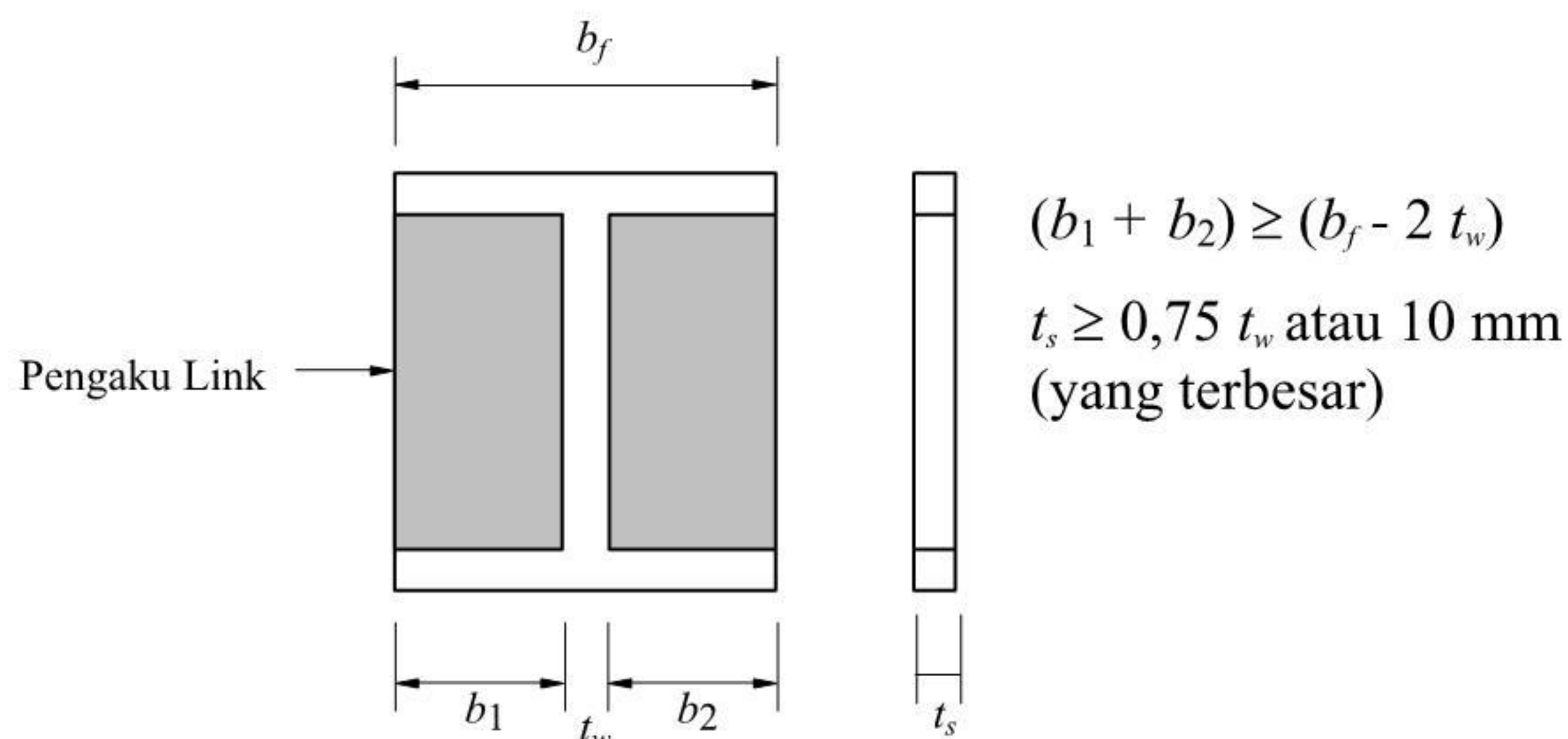
- 2) 0,02 radian untuk $e \leq 2,6M_p / V_p$;
- 3) Nilai Sudut Rotasi Link ditentukan dengan interpolasi linier untuk nilai e yang berada di antara keduanya.

15.13.3 Pengaku Link

15.13.3.1 Di titik pertemuan dengan batang bresing, pada Link harus dipasang pengaku setinggi badan Link dan berada di kedua sisi pelat badan Link. Pengaku tersebut harus mempunyai lebar total tidak kurang dari $(b_f - 2 t_w)$ dan ketebalan yang tidak kurang dari nilai terbesar dari $0,75 t_w$ atau 10 mm, dengan b_f dan t_w adalah lebar pelat sayap dan tebal pelat badan Link.

15.13.3.2 Pengaku badan antara harus direncanakan pada Link dengan ketentuan sebagai berikut:

- 1) Link dengan panjang $\leq 1,6M_p / V_p$ harus direncanakan memiliki pengaku antara dengan spasi tidak melebihi harga-harga berikut: $(30t_w - d/5)$ untuk Sudut Rotasi Link 0,08 radian, atau $(52t_w - d/5)$ untuk Sudut Rotasi Link $\leq 0,02$ radian. Interpolasi linier digunakan untuk Sudut Rotasi Link di antara 0,08 radian dan 0,02 radian;
- 2) Link dengan panjang di antara $2,6M_p / V_p$ dan $5M_p / V_p$ harus direncanakan memiliki pengaku antara berspasi $1,5b_f$ dari setiap ujung Link;
- 3) Link dengan panjang di antara $1,6M_p / V_p$ dan $2,6M_p / V_p$



harus direncanakan memiliki pengaku antara yang memenuhi ketentuan butir 1 dan butir 2 di atas;

- 4) Link dengan panjang lebih besar dari $5M_p / V_p$ tidak memerlukan pengaku antara;
- 5) Pengaku antara pada Link harus direncanakan setinggi pelat badan. Pengaku Link dengan tinggi profil lebih kecil dari 600

mm hanya diperlukan pada salah satu sisi pelat badan Link. Ketebalan pengaku satu sisi tersebut tidak boleh lebih kecil dari harga terbesar di antara t_w atau 10 mm, dan lebarnya tidak boleh lebih kecil dari $(b_f / 2 - t_w)$. Untuk Link dengan tinggi profil lebih besar daripada 600 mm, pengaku antara harus direncanakan pada kedua sisi dari pelat badan Link;

- 15.13.3.3 Sambungan las sudut yang menghubungkan pengaku dengan pelat badan Link harus mempunyai kuat rencana yang cukup untuk memikul gaya sebesar $A_{st}f_y$, dengan A_{st} adalah luas penampang pengaku. Kuat rencana las sudut yang menghubungkan pengaku dan pelat sayap Link harus mampu memikul gaya sebesar $A_{st}f_y / 4$.

15.13.4 Sambungan Link-ke-kolom

Sambungan Link-ke-kolom harus memenuhi persyaratan tambahan sebagai berikut:

- 15.13.4.1 Sambungan Link-ke-kolom harus direncanakan berdasarkan hasil pengujian siklik yang menunjukkan kemampuan rotasi inelastis 20% lebih besar daripada nilai yang dihitung pada saat terjadinya simpangan antar lantai rencana, Δ_M . Hasil pengujian kualifikasi harus sesuai dengan ketentuan pada Butir 15.7.2.1 dan Butir 15.7.2.2, kecuali bahwa sudut rotasi inelastis harus ditentukan menurut Butir 15.13.2.7.
- 15.13.4.2 Apabila digunakan perkuatan pada sambungan balok-ke-kolom diujung Link dan kelelahan dihindarkan terjadi pada bagian Link yang diperkuat maka Link boleh dianggap sebagai bagian balok dari ujung perkuatan sampai ke sambungan bresing. Bila digunakan Link jenis ini dan panjang Link tidak melebihi $1,6M_p / V_p$ maka pengujian siklik terhadap sambungan yang diperkuat tidak diperlukan bila kuat rencana bagian yang diperkuat dan sambungan balok-ke-kolom lebih besar atau sama dengan kuat perlu yang dihitung berdasarkan keadaan Link yang mengalami pengerasan regangan sesuai dengan Butir 15.13.6.1. Pengaku setinggi pelat badan sesuai Butir 15.13.3.1 harus ditempatkan diperalihan antara Link dan perkuatan.

15.13.5 Pengekang lateral pada Link

Pada ujung-ujung Link, pengekang lateral harus ditempatkan pada kedua pelat sayap Link (atas dan bawah). Pengekang lateral tersebut harus mempunyai kekuatan rencana sebesar 6% dari kuat nominal pelat sayap Link sebesar $R_y f_y b_f t_f$.

15.13.6 Batang bresing dan balok di luar Link

- 15.13.6.1 Kuat kombinasi-aksial-dan-lentur perlu batang bresing harus direncanakan berdasarkan gaya aksial dan momen lentur yang ditimbulkan oleh 1,25 kali kuat geser nominal dari Link sebesar $1,25R_yV_n$, dengan V_n ditentukan sesuai dengan Butir 15.13.2. Kuat rencana batang bresing, seperti ditentukan pada Butir 11, harus lebih besar daripada kuat perlu yang disebutkan di atas.
- 15.13.6.2 Balok di luar Link harus direncanakan memenuhi ketentuan sebagai berikut:
- 1) Kuat perlu balok yang terletak di luar Link harus ditentukan berdasarkan gaya-gaya yang ditimbulkan oleh paling tidak 1,1 kali kuat geser nominal Link sebesar R_yV_n , dengan V_n ditentukan sesuai dengan Butir 15.13.2. Kuat rencana balok di luar Link ini dapat ditentukan menggunakan ketentuan kuat rencana yang dihitung berdasarkan Butir 8 dan mengalikannya dengan faktor R_y ;
 - 2) Bila diperlukan, balok di luar Link harus direncanakan menggunakan pengekang lateral untuk menjaga kestabilan balok. Pengekang lateral harus direncanakan pada kedua pelat sayap balok (atas dan bawah), dan masing-masing pengekang lateral harus mempunyai kuat perlu sebesar paling sedikit 2% dari kuat nominal pelat sayap balok sebesar $f_y b_f t_f$.
- 15.13.6.3 Pada sambungan antara batang bresing dan balok diujung Link, pertemuan as batang bresing dan as balok harus terletak di ujung Link atau di dalam Link.
- 15.13.6.4 Kuat perlu sambungan batang bresing-ke-balok, pada ujung Link dari batang bresing, harus ditentukan lebih besar atau sama dengan kuat nominal batang bresing seperti yang ditentukan pada Butir 15.13.6.1. Tidak ada bagian dari sambungan ini yang boleh melampaui panjang Link. Apabila batang bresing memikul sebagian momen ujung Link maka sambungan harus direncanakan sebagai sambungan kaku.
- 15.13.6.5 Perbandingan antara lebar dan tebal batang bresing harus memenuhi nilai λ_p yang ditentukan dalam Tabel 7.5-1.

15.13.7 Sambungan balok-ke-kolom

Sambungan balok-ke-kolom pada ujung jauh Link diijinkan direncanakan sebagai sendi pada bidang pelat badan. Kuat rencana

sambungan harus mampu memikul torsi terhadap sumbu memanjang balok yang dihitung sebagai dua buah gaya yang sama besar dan berlawanan arah masing-masing sebesar 2% dari kuat nominal pelat sayap balok sebesar $f_y b_f t_f$ dan bekerja dalam arah lateral pada pelat sayap balok.

15.13.8 Beban terfaktor kolom

Sebagai tambahan dari ketentuan pada Butir 15.6, beban terfaktor kolom harus ditentukan berdasarkan kombinasi pembebanan (6.2-5) dan (6.2-6), kecuali bahwa momen dan gaya aksial yang diteruskan kepada kolom pada sambungan Link atau batang bresing tidak kurang dari gaya-gaya yang ditimbulkan oleh 1,1 kali kuat nominal Link sebesar $1,1R_y V_n$, dengan V_n ditentukan seperti pada Butir 15.13.2.4.



Tabel 15.2-1 Tabel di bawah ini menunjukkan klasifikasi sistem struktur, sistem pemikul beban gempa, faktor modifikasi respons, R , dan faktor kuat cadang struktur, Ω_0 .

| Sistem Struktur | Deskripsi Sistem Pemikul Beban Gempa | R | Ω_0 |
|--|---|-----|------------|
| 1. Sistem Dinding Penumpu [Sistem struktur yang tidak memiliki rangka ruang pemikul beban gravitasi secara lengkap. Dinding penumpu atau sistem bresing memikul hampir semua beban gravitasi. Beban lateral dipikul dinding geser atau rangka bresing.] | 1. Dinding penumpu dengan rangka baja ringan dan bresing baja tarik | 2,8 | 2,2 |
| | 2. Rangka bresing di mana bresing memikul beban gravitasi | 4,4 | 2,2 |
| 2. Sistem Rangka Bangunan [Sistem struktur yang pada dasarnya memiliki rangka ruang pemikul beban gravitasi secara lengkap. Beban lateral dipikul dinding geser atau rangka bresing.] | 1. Sistem rangka bresing eksentris (SRBE) | 7,0 | 2,8 |
| | 2. Sistem rangka bresing konsentrik biasa (SRBKB) | 5,6 | 2,2 |
| | 3. Sistem rangka bresing konsentrik khusus (SRBKK) | 6,4 | 2,2 |
| 3. Sistem Rangka Pemikul Momen [Sistem struktur yang pada dasarnya memiliki rangka ruang pemikul beban gravitasi secara lengkap. Beban lateral dipikul rangka pemikul momen terutama melalui mekanisme lentur.] | 1. Sistem rangka pemikul momen khusus (SRPMK) | 8,5 | 2,8 |
| | 2. Sistem rangka pemikul momen terbatas (SRPMT) | 6,0 | 2,8 |
| | 3. Sistem rangka pemikul momen biasa (SRPMB) | 4,5 | 2,8 |
| | 4. Sistem rangka batang pemikul momen khusus (SRBPMK) | 6,5 | 2,8 |
| 4. Sistem Ganda [Terdiri dari: 1) rangka ruang yang memikul seluruh beban gravitasi; 2) pemikul beban lateral berupa dinding geser atau rangka bresing dengan rangka pemikul momen. Rangka pemikul momen harus direncanakan secara terpisah mampu memikul sekurang-kurangnya 25% dari seluruh beban lateral; 3) kedua sistem harus direncanakan untuk memikul secara bersama-sama seluruh beban lateral dengan memperhatikan interaksi sistem ganda.] | 1. Dinding geser beton dgn SRPMB baja | 4,2 | 2,8 |
| | 2. SRBE baja | | |
| | a. Dengan SRPMK baja | 8,5 | 2,8 |
| | b. Dengan SRPMB baja | 4,2 | 2,8 |
| | 3. SRBKB baja | | |
| | a. Dengan SRPMK baja | 6,5 | 2,8 |
| | b. Dengan SRPMB baja | 4,2 | 2,8 |
| | 4. SRBKK baja | | |
| | a. Dengan SRPMK baja | 7,5 | 2,8 |
| | b. Dengan SRPMB baja | 4,2 | 2,8 |
| 5. Sistem Bangunan Kolom Kantilever [Sistem struktur yang memanfaatkan kolom kantilever untuk memikul beban lateral.] | Komponen struktur kolom kantilever | 2,2 | 2,0 |

Tabel 15.7-1 Nilai batas perbandingan lebar terhadap tebal, λ_p , untuk elemen tekan

| Keterangan elemen | Perbandingan lebar terhadap tebal | Nilai batas perbandingan lebar terhadap tebal λ_p |
|---|-----------------------------------|---|
| Sayap-sayap profil I, profil hibrida atau profil tersusun dan profil kanal dalam lentur | b/t | $\frac{135}{\sqrt{f_y}}$ |
| Pelat-pelat badan pada kombinasi lentur dan aksial tekan | h_c/t_w | <p>Bila $N_u / \phi_b N_y \leq 0,125$</p> $\frac{1.365}{\sqrt{f_y}} \left[1 - 1,54 \frac{N_u}{\phi_b N_y} \right]$ <p>Bila $N_u / \phi_b N_y > 0,125$</p> $\frac{500}{\sqrt{f_y}} \left[2.33 - \frac{N_u}{\phi_b N_y} \right] \geq \frac{665}{\sqrt{f_y}}$ |
| Penampang baja bulat berongga dalam aksial tekan atau lentur | D/t | $\frac{9.000}{f_y}$ |
| Penampang baja persegi berongga dalam aksial tekan atau lentur | b/t atau h/t | $\frac{290}{\sqrt{f_y}}$ |

16. PENGAMBARAN

16.1 Aturan penggambaran

Bab ini mengatur tata cara penggambaran untuk gambar rencana, gambar kerja, gambar lapangan, dan gambar pelaksanaan.

Gambar-gambar harus dipersiapkan sesuai dengan standar-standar mengenai tata cara pembuatan gambar teknik yang diakui. Demikian juga penggunaan simbol-simbol untuk pengelasan harus mengikuti pedoman dan standar-standar yang diakui.

16.2 Informasi yang harus ditunjukkan pada gambar

Gambar-gambar harus memberikan informasi mengenai dimensi, bentuk penampang, dan posisi relatif setiap komponen struktur. Gambar-gambar tersebut juga harus menunjukkan dimensi, ketinggian lantai, sumbu-sumbu kolom, dan titik-titik kumpul serta sambungan-sambungan dari setiap komponen struktur.

Gambar-gambar harus disiapkan dengan skala yang cukup sehingga dapat menyampaikan informasi dengan jelas.

Bila diperlukan, gambar-gambar harus menunjukkan mutu material baja yang harus digunakan.

Bila digunakan baut atau baut mutu tinggi, mutu baut harus diperlihatkan secara jelas pada gambar.

Lawan lendut struktur rangka batang dan balok-balok harus diperlihatkan pada gambar.

Pada bagian-bagian yang di rencanakan untuk kontak logam dengan logam seperti pada pelat landas kolom, sambungan lapis kolom atau pada tumpuan pengaku pada sayap balok, besarnya pemesinan atau pembubutan yang diperlukan pada ujung-ujung bagian tersebut harus diperlihatkan secukupnya.

16.3 Penggambaran balok badan terbuka

Balok badan terbuka adalah balok pemikul lantai yang pelat badannya terdiri dari rangka batang.

Gambar-gambar rencana harus memperlihatkan:

- a) jarak maksimum antar balok, lawan lendut, tinggi balok maksimum, dan landasan;

- b) Ukuran dari pelat landas bila balok tidak ditumpu oleh komponen struktur baja;
- c) Pengangkeran yang diperlukan;
- d) Pengaku yang diperlukan;
- e) Cara dan jarak pengikatan rantai baja pada sisi atas balok.

Pada gambar-gambar rencana perlu dicantumkan peringatan bahwa pengikatan untuk elemen-elemen mekanikal, elektrik, dan pipa-pipa lainnya harus menggunakan alat penjepit yang memenuhi syarat atau baut penyambung berbentuk U. Pengeboran atau pemotongan hanya boleh dilakukan seijin perencana.



17. PABRIKASI

17.1 Umum

Suatu komponen struktur yang dipabrikasi harus ditolak bila:

- a) mutu materialnya tidak memenuhi persyaratan pada Butir 17.2; atau
- b) pabrikasinya tidak memenuhi persyaratan pada Butir 17.3; atau
- c) tidak memenuhi toleransi yang disyaratkan pada Butir 17.4.

Namun, komponen struktur yang dipabrikasi tersebut dapat juga diterima bila memenuhi hal-hal berikut:

- (i) dapat dibuktikan bahwa secara struktural tetap memenuhi syarat dan fungsi yang diharapkan; atau
- (ii) lulus pengujian sesuai dengan butir-butir yang bersangkutan pada Butir 20.

Komponen-komponen struktur yang dipabrikasi yang tidak memenuhi Butir 17.1(i) atau 17.1(ii) di atas dan juga tidak memenuhi Butir 17.2, 17.3, atau 17.4 harus ditolak.

17.2 Material

Semua material harus memenuhi persyaratan-persyaratan standar material yang sesuai dengan yang disyaratkan pada Butir 3.1 dan 5.3. Cacat permukaan pada baja harus dihilangkan dengan menggunakan cara-cara yang disyaratkan pada Butir 3.1.

Mutu baja harus dapat diidentifikasi pada semua tahap pabrikasi, atau bajanya harus dinyatakan sebagai baja yang tidak teridentifikasi dan hanya digunakan sesuai dengan Butir 5.2.2. Setiap penandaan pekerjaan baja harus dilakukan sedemikian rupa sehingga tidak merusak mutu materialnya.

17.3 Prosedur pabrikasi

17.3.1 Cara-cara

Semua komponen harus diluruskan atau dibentuk menjadi konfigurasi yang direncanakan dengan cara-cara yang tidak akan mengurangi mutu material menjadi lebih kecil daripada nilai-nilai yang digunakan pada perencanaan. Baja dapat ditekuk atau dipres menjadi bentuk yang diinginkan baik dengan proses panas maupun proses dingin.

Pemanasan setempat atau cara mekanis dapat digunakan untuk menghasilkan atau memperbaiki lawan lendut, lendutan ke samping, dan ketidaklurusan. Suhu pada bagian yang dipanaskan tidak boleh melebihi 650°C.

17.3.2 Sambungan tumpu kontak penuh

Sambungan tumpu kontak penuh dapat dihasilkan dengan cara pemotongan dingin dengan gergaji atau dengan pemesian.

Permukaan-permukaan dari sambungan tersebut harus sedemikian rupa sehingga pada saat kedua ujung elemen dipertemukan, alinyemen dari elemen-elemen tersebut dan celah yang terjadi harus berada dalam batas toleransi yang disyaratkan pada Butir 17.4.3.2

17.3.3 Pemotongan

Pemotongan dapat dilakukan dengan cara yang dipandang paling sesuai seperti gergaji, menggunting, *cropping*, pemesian, api las atau plasma, yang dipandang paling sesuai.

Pengguntingan bahan dengan ketebalan melebihi 16 mm tidak boleh dilakukan bila material tersebut akan digalvanisasi dan akan menerima gaya tarik atau momen lentur, kecuali bila material itu dihilangkan tegangan sisanya sesudahnya.

Setiap potongan baik yang dilas maupun tidak dilas harus memiliki kekasaran sesuai dengan ketentuan yang berlaku, sebagaimana yang diberikan pada Tabel 17.3.

Kekasaran permukaan yang tidak memenuhi syarat harus diperbaiki dengan gurinda. Tanda-tanda bekas gerinda harus sejajar terhadap arah potongan.

Takik dan dekok yang berjarak lebih dari $20t$ (dengan t adalah tebal elemen) dan tidak melebihi 1% dari luas permukaan total pada suatu permukaan yang memenuhi syarat, dapat diterima apabila cacat-cacat yang melebihi $t/5$ tapi yang tidak lebih dalam dari 2 mm dihilangkan dengan menggunakan pemesian atau gerinda. Cacat melebihi batas-batas di atas harus diperbaiki dengan las sesuai dengan ketentuan yang berlaku.

Sudut-sudut yang membuka ke dalam harus dibentuk bebas dari takik dengan radius minimum 10 mm.

Tabel 17.3 Kekasaran permukaan potongan maksimum

| Penggunaan | Kekasaran Maksimum (CLA) mikron meter |
|--|---------------------------------------|
| Penggunaan normal, yaitu dimana permukaan dan tepi tetap seperti saat dipotong atau dengan sedikit penghalusan | 25 |
| Daerah pelelehan komponen struktur kategori 1, 2, atau 3 | 12 |

Catatan:

1. Nilai kekasaran dapat diperkirakan dengan membandingkan dengan permukaan replika.
2. Teknik pemotongan dengan api dilakukan dengan mengacu pada standar yang berlaku.
3. CLA: *Centre Line Average Method*.

17.3.4 Pengelasan

Pengelasan untuk semua jenis elemen, termasuk penghubung geser jenis paku, pengelasan harus memenuhi ketentuan yang berlaku.

17.3.5 Pelubangan

Suatu lubang bulat untuk baut harus dipotong dengan mesin pemotong dengan api, atau dibor ukuran penuh, atau dipons 3 mm lebih kecil dan kemudian diperbesar, atau dipons ukuran penuh.

Lubang selot harus dipotong dengan mesin api atau dipons sekaligus atau dibentuk dengan mengebor dua lubang berdekatan kemudian diselesaikan dengan api.

Pemotongan lubang baut dengan api menggunakan tangan tidak diperkenankan kecuali sebagai perbaikan di lapangan untuk lubang-lubang pada pelat landas kolom.

Suatu lubang yang dipons hanya diizinkan pada material dengan tegangan leleh (f_y) tidak melebihi 360 MPa dan ketebalannya tidak melebihi $(5.600/f_y)$ mm

17.3.6 Ukuran lubang

Diameter nominal dari suatu lubang yang sudah jadi, harus 2 mm lebih besar dari diameter nominal baut untuk suatu baut yang diameternya tidak melebihi 24 mm, dan maksimum 3 mm lebih besar

untuk baut dengan diameter lebih besar, kecuali untuk lubang pada pelat landas.

a) Lubang yang diperbesar atau lubang selot.

Lubang yang diperbesar atau lubang selot dapat diizinkan apabila persyaratan berikut dipenuhi:

- (i) Diameter lubang yang diperbesar maksimum adalah yang terbesar dari nilai $1,25 d_f$ atau $(d_f + 8)$ mm, dengan d_f adalah diameter baut nominal dalam milimeter;
- (ii) Panjang lubang selot pendek maksimum adalah yang terbesar dari nilai $1,33 d_f$ atau $(d_f + 10)$ mm dan lebarnya tidak boleh melebihi ukuran lubang yang sesuai pada butir ini;
- (iii) Panjang lubang selot maksimum adalah $1,5 d_f$ dan lebarnya tidak melebihi ukuran lubang yang sesuai pada Butir 17.3.5.2.

b) Pembatasan penggunaan

Penggunaan lubang yang diperbesar atau lubang selot harus dibatasi sedemikian rupa sehingga persyaratan berikut dipenuhi:

(i) Lubang yang diperbesar

Lubang yang diperbesar dapat digunakan pada salah satu atau seluruh pelat lapis dari suatu sambungan tipe tumpu atau tipe friksi dengan syarat dipasang cincin pelat atau cincin diperkeras di atas lubang yang diperbesar yaitu di bawah kepala baut dan mur.

(ii) Lubang selot pendek

Lubang selot pendek dapat digunakan pada salah satu atau seluruh pelat lapis dari suatu sambungan tipe tumpu atau tipe friksi, dengan syarat bahwa dipasang cincin pelat atau cincin diperkeras di atas lubang selot yaitu di bawah kepala baut dan mur.

Pada sambungan tipe friksi yang memikul gaya geser, lubang selot pendek dapat digunakan tanpa memperhatikan arah pembebanan.

Pada sambungan tipe tumpu yang memikul gaya geser, lubang selot pendek hanya boleh digunakan bila sambungan tidak dibebani secara eksentris dan bila baut dapat menumpu secara merata, dan bila arah selot tegak lurus pada arah beban.

(iii) Lubang selot panjang

Lubang selot panjang hanya dapat digunakan pada pelat lapis secara berselang-seling dalam suatu sambungan tipe tumpu atau tipe friksi dengan syarat bahwa digunakan cincin pelat dengan tebal minimum 8 mm untuk menutup seluruh lubang selot panjang di bawah kepala baut dan murnya.

Pada sambungan tipe friksi yang memikul gaya geser, lubang selot panjang dapat digunakan tanpa memperhatikan arah beban.

Pada sambungan tipe tumpu yang memikul gaya geser, lubang selot panjang hanya boleh digunakan bila sambungan tidak dibebani secara eksentris dan bila baut dapat menumpu merata, dan bila arah selot tegak lurus pada arah beban.

17.3.7 Pembautan

Semua baut, mur, dan cincinnya harus memenuhi standar mutu yang disyaratkan pada Butir 5.3.1 Semua material yang berada diantara jepitan baut harus terbuat dari baja dan material kompresibel tidak diperkenankan berada di antara jepitan tersebut.

Panjang baut harus sedemikian rupa sehingga paling sedikit satu ulir baut penuh tampak di atas mur dan paling sedikit satu ulir ditambah dengan sisa ulir yang bersangkutan tampak penuh dibawah mur sesudah pengencangan.

Di bawah bagian yang berputar harus dipasang sebuah cincin.

Apabila suatu permukaan bidang kontak dengan kepala baut ataupun mur mempunyai kemiringan melebihi 1:20 maka harus digunakan cincin baji untuk mengatasi permukaan bidang miring tadi. Komponen yang tidak berputar dipasang setelah ring baji tersebut.

Mur-mur yang digunakan pada suatu sambungan yang menerima getaran harus diperkuat untuk mencegah pengenduran.

17.3.7.1 Baut bertegangan

Baut mutu tinggi yang bertegangan yang dipasang pada saat pabrikasi harus dipasang sesuai dengan Butir 18.2.4 dan Butir 18.2.5. Permukaan kontak dari suatu sambungan yang menggunakan baut bertegangan harus dipersiapkan sesuai Butir 17.3.7.2.

17.3.7.2 Persiapan permukaan-permukaan yang bersentuhan

Permukaan-permukaan yang bersentuhan harus dipersiapkan sebagai berikut:

- a) Semua minyak, kotoran, karat lepas, kerak lepas, dan cacat-cacat lainnya pada permukaan kontak yang dapat menghalangi kedudukan rapat dari bagian-bagian yang berada pada keadaan kencang tangan harus dibersihkan¹;

¹ - Bila diperlukan pembersihan untuk memenuhi persyaratan ini, maka pembersihan harus dilakukan sesuai dengan standar yang berlaku.

b) Sambungan tipe friksi

Untuk sambungan tipe friksi, permukaan bidang kontak harus bersih bekas gilas atau yang sejenis, dan selain harus memenuhi syarat (a), juga harus bebas dari cat, sirlak, galvanis, atau bahan penyelesaian lainnya kecuali bila bahan penyelesaian tersebut sudah diuji untuk menentukan koefisien gesekan (lihat Butir 13.2.3.2).

Untuk sambungan yang tidak dicat, cat dan semua semprotan tidak boleh berada pada daerah lubang baut sebatas satu diameter baut, tapi tidak kurang dari 25 mm, dari tepi lubang dan dari semua daerah pada suatu kelompok baut;

c) Sambungan tipe tumpu

Untuk sambungan tipe tumpu, suatu lapisan bahan penyelesaian pada bidang kontak dapat digunakan.

17.3.8 Sambungan pen

Pen dan lubangnya harus diselesaikan sedemikian rupa sehingga gaya-gaya terdistribusi secara merata pada seluruh lapisan dari sambungan.

17.4 Toleransi

17.4.1 Umum

Batas-batas toleransi pada butir ini harus dipenuhi setelah pabrikan selesai dan semua material pencegah karat telah dilapiskan. Toleransi pada semua dimensi struktural harus sebesar 2 mm, kecuali dinyatakan lain.

17.4.2 Penampang melintang

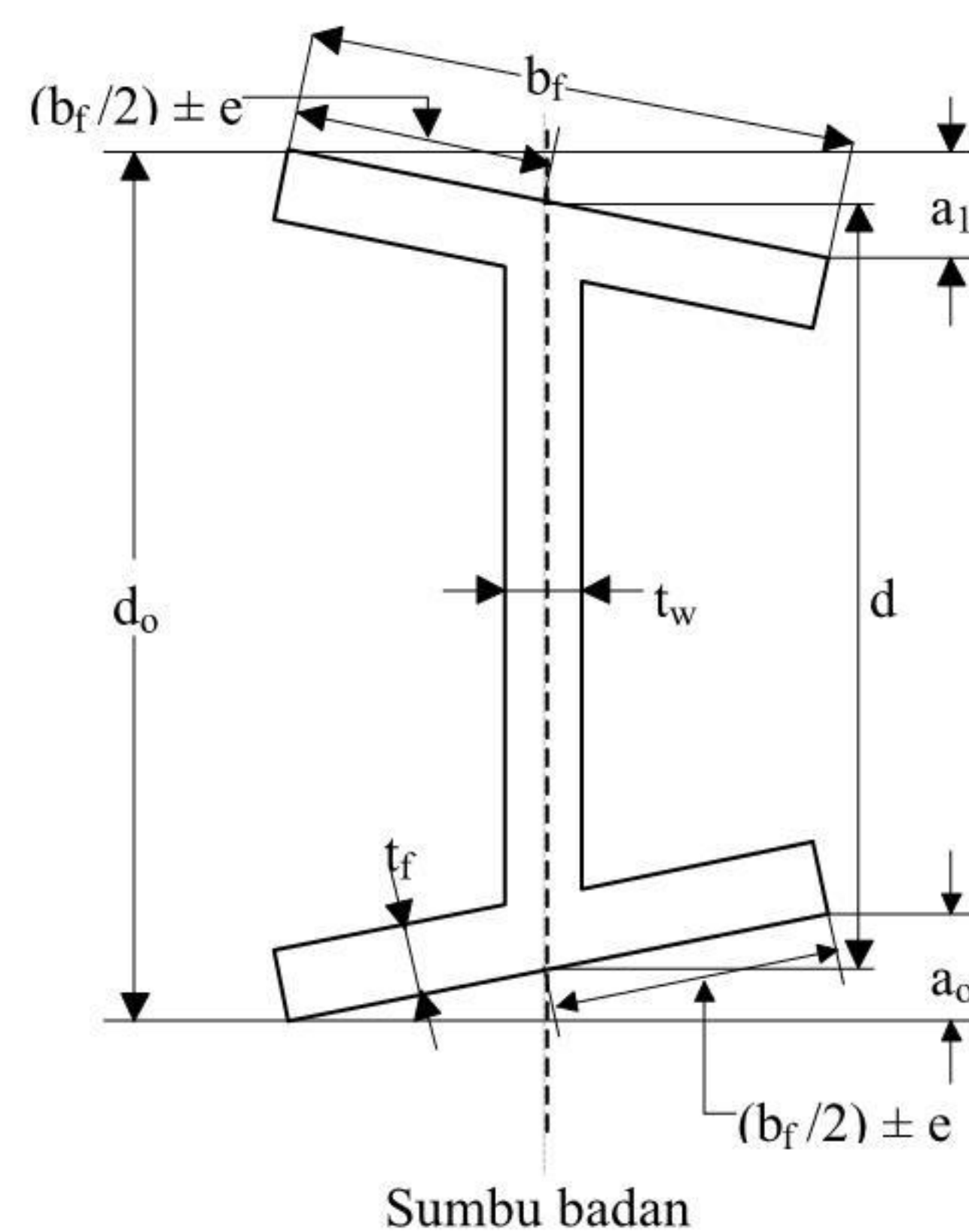
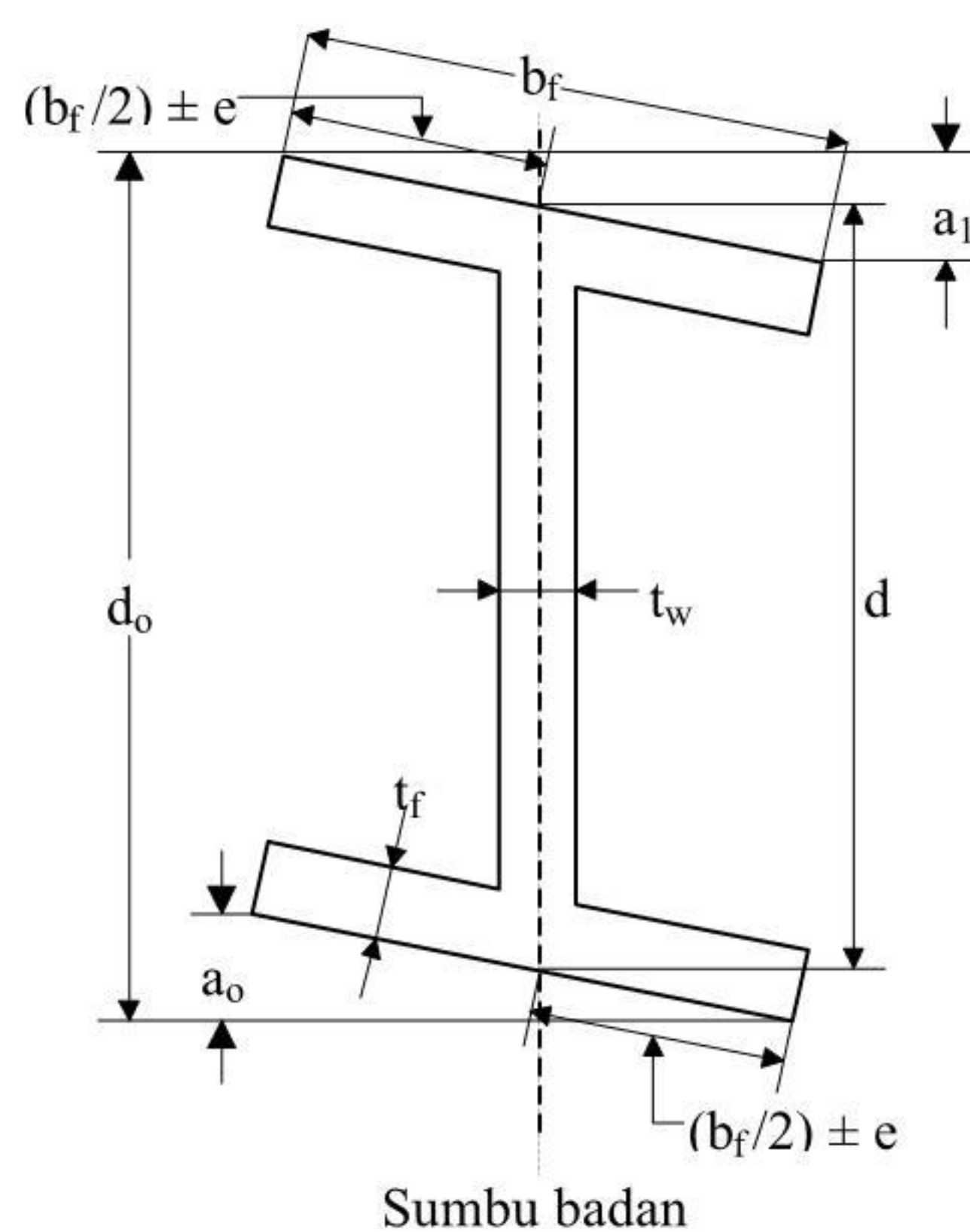
Sesudah pabrikan, toleransi pada setiap penampang melintang dari suatu profil giling atau pelat harus seperti yang disyaratkan pada ketentuan yang berlaku, dalam kaitannya dengan tinggi, lebar sayap, tebal sayap, tebal badan, ketidak-sikuan, dan penyimpangan sumbu badan.

Untuk setiap profil tersusun, penyimpangan dari dimensi yang disyaratkan pada penampang melintang tidak boleh melebihi sebagai berikut;

a) Tinggi penampang (d) (lihat Gambar 17.4-1):

-
- Permukaan bersisik hasil penggilasan tidak perlu dibersihkan lebih lanjut.
 - Kencang tangan didefinisikan seperti dalam Butir 18.2.5.2.

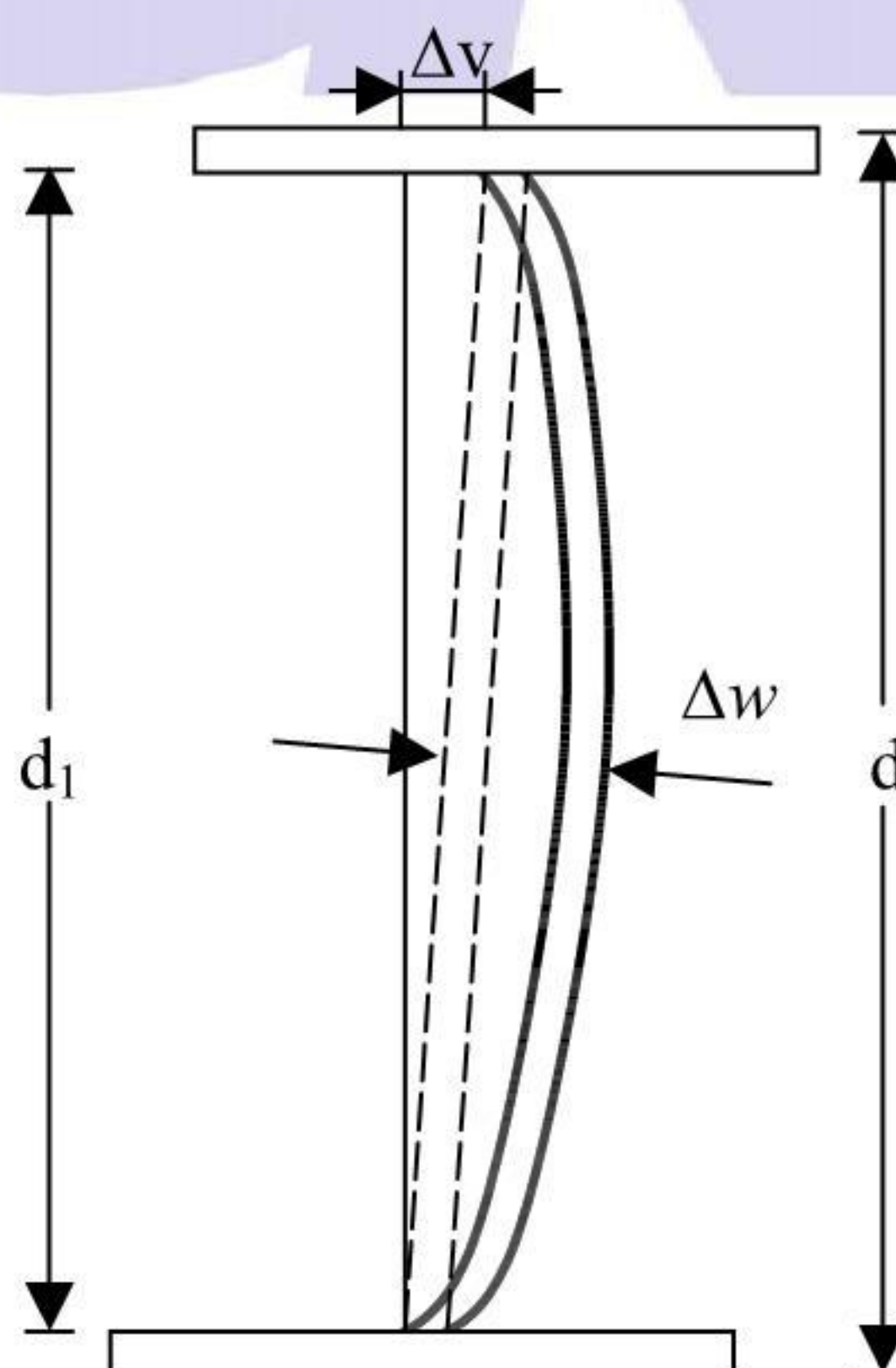
- untuk $d < 400$ mm, 3,0 mm
 untuk $400 \leq d < 600$ mm 4,0 mm
 untuk $d \geq 600$ mm, 5,0 mm
- b) Lebar sayap (b_f) (lihat Gambar 17.4-1):
 untuk semua b_f 3.0 mm
- c) Tebal sayap (t_f) (lihat Gambar 17.4-1):
 untuk $t_f < 16$ mm, 1,5 mm
 untuk $16 \leq t_f < 25$ mm, 2,0 mm
 untuk $25 \leq t_f < 40$ mm, 2,5 mm
 untuk $t_f \geq 40$ mm, 3,0 mm
- d) Tebal badan (t_w) (lihat Gambar 17.4-1):
 untuk $t_w < 16$ mm, 1,0 mm
 untuk $16 \leq t_w < 25$ mm, 1,5 mm
 untuk $25 \leq t_w < 40$ mm, 2,0 mm
 untuk $t_w \geq 40$ mm, 2,5 mm
- e) Ketidak-sikuan dari suatu sayap, a_0 atau a_1 (lihat Gambar 17.4-1):
 untuk $d \leq 300$ mm, $\leq (1,2 \% \times b_f)$ mm, minimum 2,0 mm
 untuk $d > 300$ mm, $\leq (1,5 \% \times b_f)$ mm, minimum 2,0 mm
- f) Ketidak-dataran badan (Δ_w) (lihat Gambar 17.4-2):
 untuk $d < 400$ mm, 2,0 mm
 untuk $400 \leq d < 600$ mm, 2,5 mm
 untuk $d \geq 600$ mm, 3,0 mm
- g) Penyimpangan terhadap garis vertikal dari badan pada suatu tumpuan (Δ_v) (lihat Gambar 17.4-2):
 untuk $d \leq 900$ mm, 3 mm
 untuk $d > 900$ mm, $\left(\frac{b_f}{300} \right)$ mm
- h) Persyaratan sambungan menuntut toleransi yang lebih ketat.
 Suatu penampang kotak tersusun tidak boleh menyimpang lebih dari 5 mm atau $[(a_2 + a_3)/400]$ mm, diambil yang lebih besar pada diafragmanya; ketentuan ini tidak berlaku pada bentuk dari suatu penampang kotak tersusun.



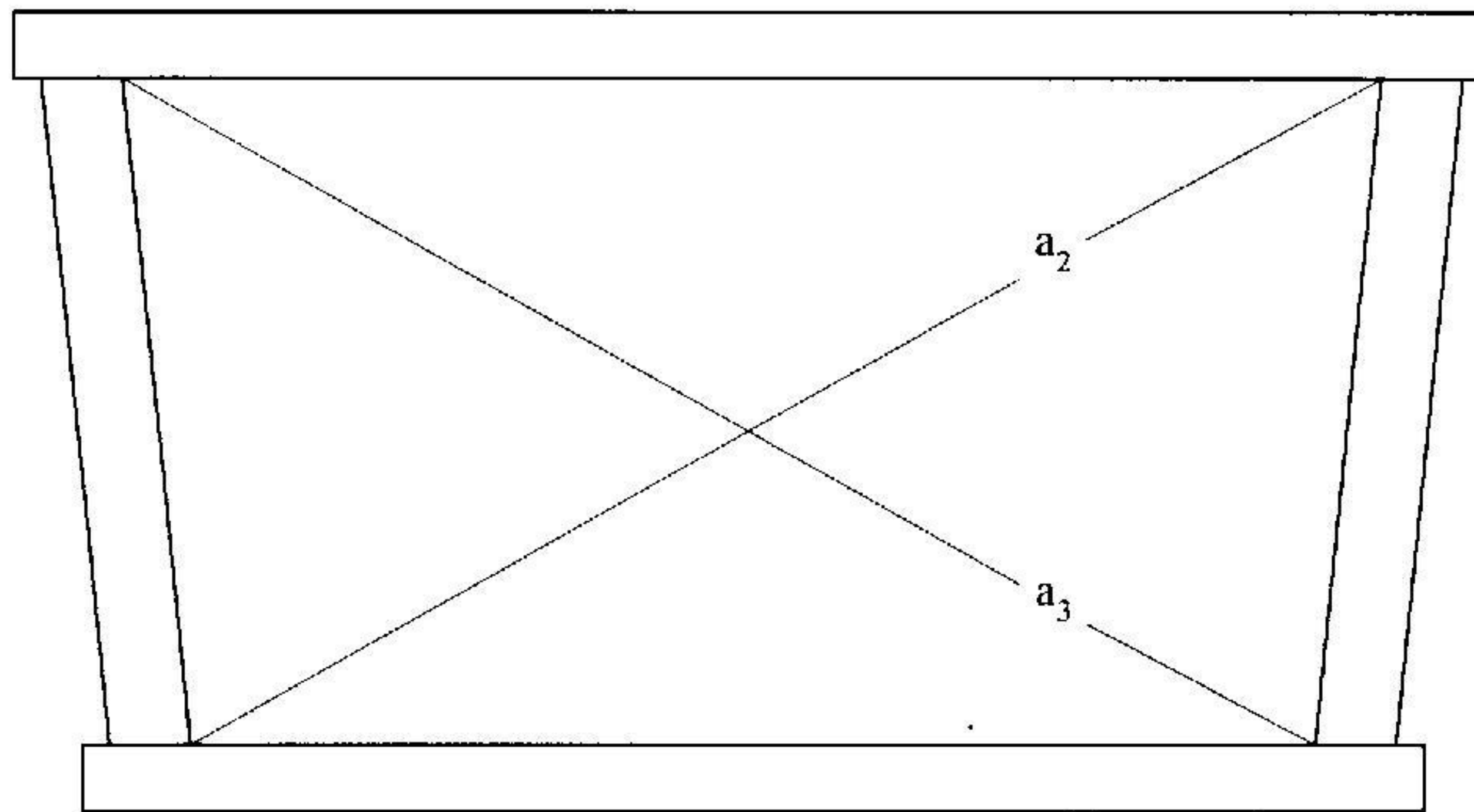
Catatan:

1. Dimensi d , d_o , a_o , dan a_1 diukur sejajar garis sumbu badan. Dimensi b_f dan $(0,5 b_f \pm e)$ diukur sejajar dengan bidang sayap.
2. Dimensi d diukur pada garis sumbu badan.

Gambar 17.4-1
Toleransi pada suatu penampang melintang



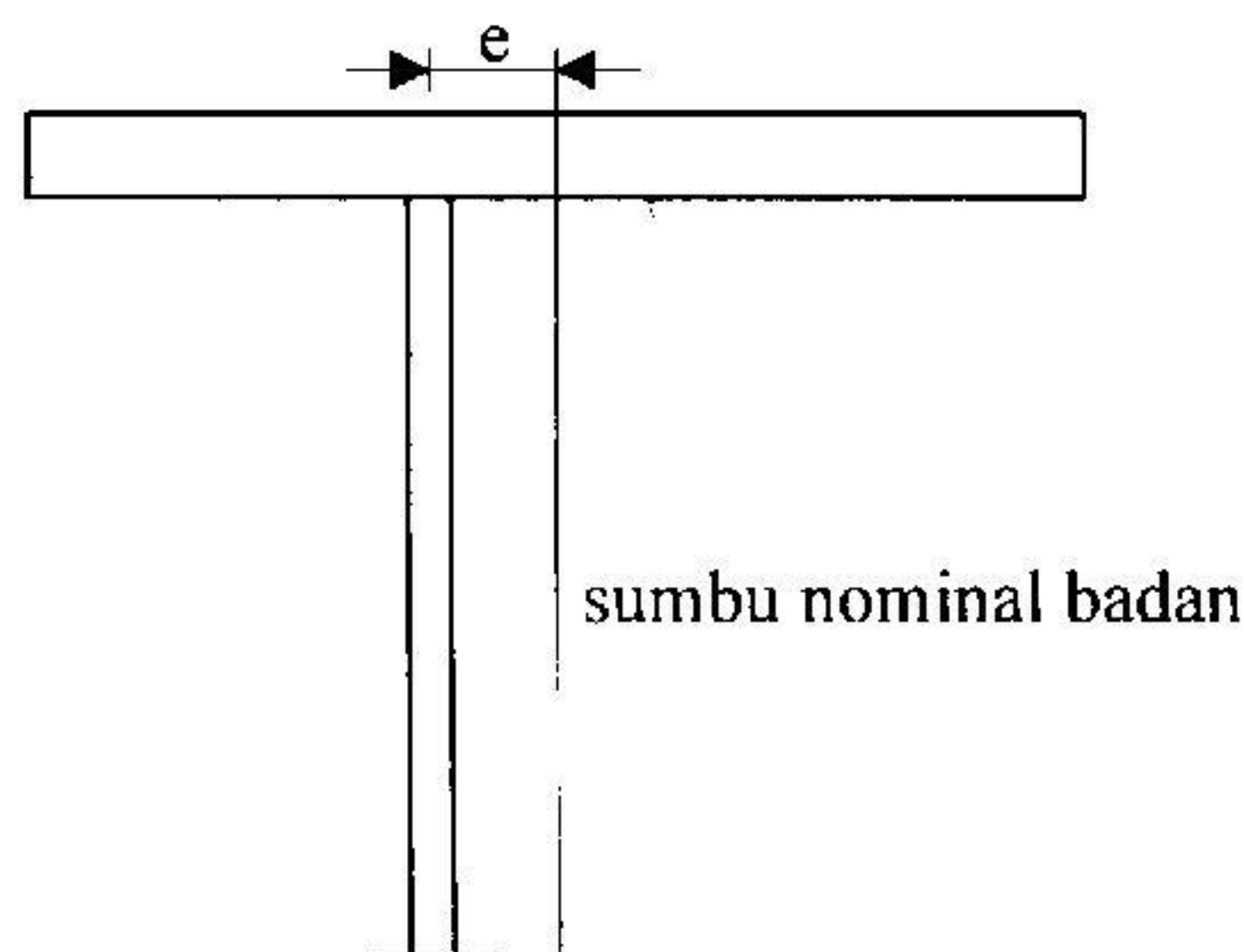
Gambar 17.7-2
Toleransi pada badan.



Gambar 17.4-3

Toleransi pada bentuk dari suatu penampang kotak tersusun.

- i) Ketidaktepatan sumbu pelat badan (e) (lihat Gambar 17.4-4):
- | | |
|--------------------|--------|
| untuk $d \leq 300$ | 3,0 mm |
| untuk $d > 300$ | 4,5 mm |

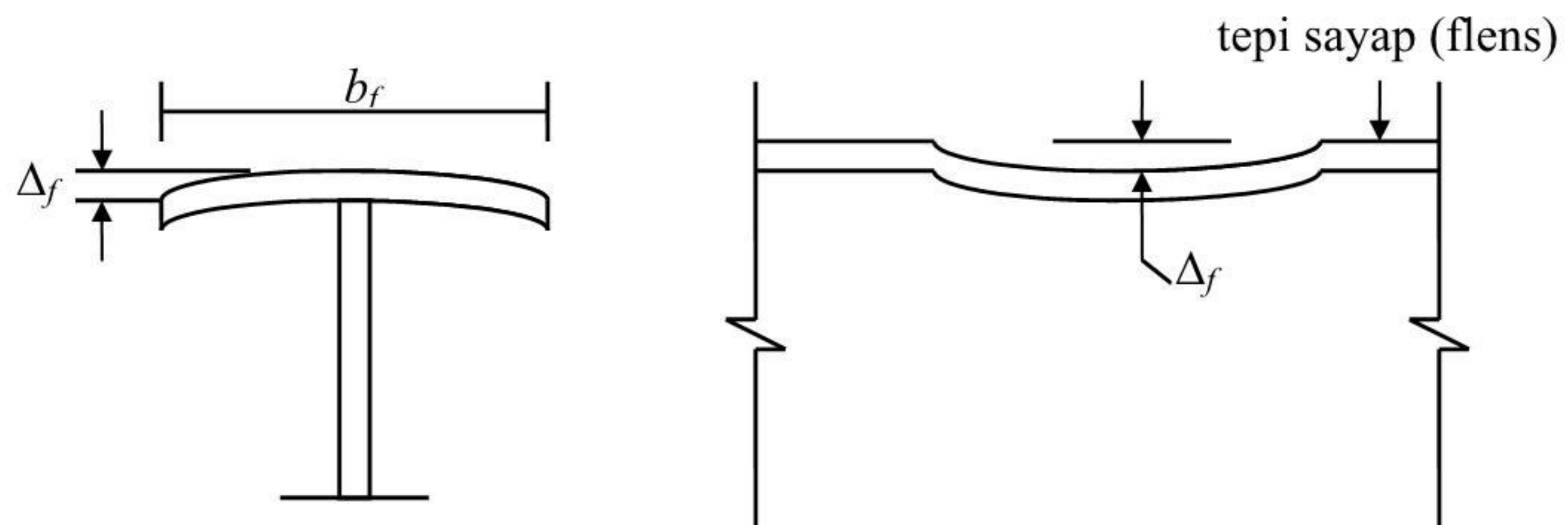


Gambar 17.4-4

Toleransi untuk penyimpangan badan dari sumbu nominalnya.

- j) Ketidak-rataan suatu sayap (Δ_f) (lihat Gambar 17.4-5):

| | |
|-------------------------|-------------------------------------|
| untuk $b_f \leq 450$ mm | $\left(\frac{b_f}{150} \right)$ mm |
| untuk $b_f > 450$ mm | 3 mm |

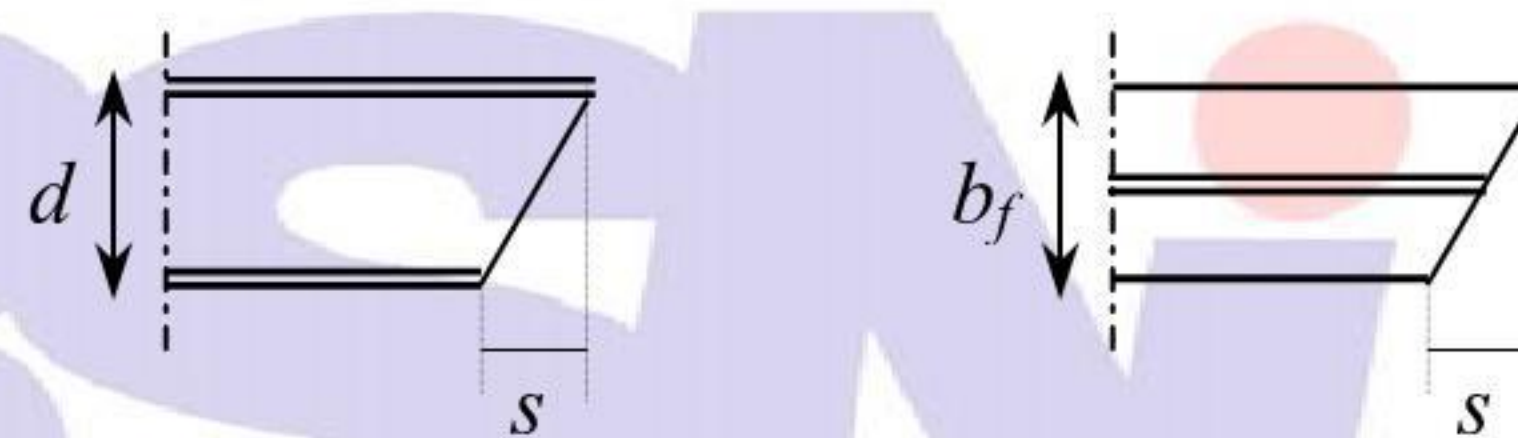


Gambar 17.4-5

Toleransi terhadap ketidak-rataan suatu flens.

- k) Ketidak-sikuan dari ujung pemotongan profil (s) (lihat Gambar 17.4-6):

nilai yang terkecil dari $\leq 0,16 \%$ dari b_f atau d , atau 3,0 mm.



Gambar 17.4-6

Toleransi ketidak-sikuan ujung pemotongan.

17.4.3 Batang tekan

17.4.3.1 Kelurusan

Penyimpangan dari kesemua sumbu-utama terhadap suatu garis lurus yang ditarik di antara kedua ujung dari suatu komponen struktur tidak boleh melebihi nilai terbesar dari $L/1000$ atau 3mm.

17.4.3.2 Sambungan tumpu kontak penuh

Bila ujung-ujung dari dua komponen struktur yang bertemu, atau ujung dari suatu komponen struktur dengan bidang kontak dari suatu pelat tertutup atau pelat landas yang menempel, disyaratkan untuk bersentuhan secara sempurna maka persyaratan tersebut harus dianggap dipenuhi bila permukaan tumpu dipersiapkan sedemikian rupa sehingga apabila alinyemen sepanjang komponen struktur yang bertemu tersebut memenuhi toleransi yang disyaratkan pada Butir 18.3.3, kelonggaran maksimum dari permukaan-permukaan yang bertemu tidak melebihi 1 mm, dan tidak melebihi 0,5 mm pada paling sedikit 67% dari bidang kontak.

17.4.3.3 Panjang

Panjang komponen struktur tidak boleh menyimpang dari panjang yang ditentukan dengan toleransi 2 mm.

17.4.4 Balok

17.4.4.1 Kelurusan

Pada suatu balok, penyimpangan terhadap garis lurus antara kedua ujung balok dibatasi sebagai berikut:

- a) **Lawan lendut**: diukur dengan pelat badan dalam keadaan horisontal pada suatu permukaan uji (lihat Gambar 17.4-7 (a)). Toleransi terhadap lawan lendut yang disyaratkan adalah nilai yang terkecil dari $L/1000$ atau 10mm;
- b) **Lendutan ke samping**: diukur dengan pelat dalam keadaan badan vertikal (lihat Gambar 17.4-7(b)). Lendutan kesamping (dilihat dari atas) tidak boleh melebihi nilai terbesar dari $L/1000$ atau 3 mm.

17.4.4.2 Panjang

Panjang suatu balok tidak boleh menyimpang dari panjang yang ditentukan dengan toleransi 2 mm untuk panjang balok kurang dari 10 m, dan 4 mm untuk panjang balok lebih besar dari 10 m.

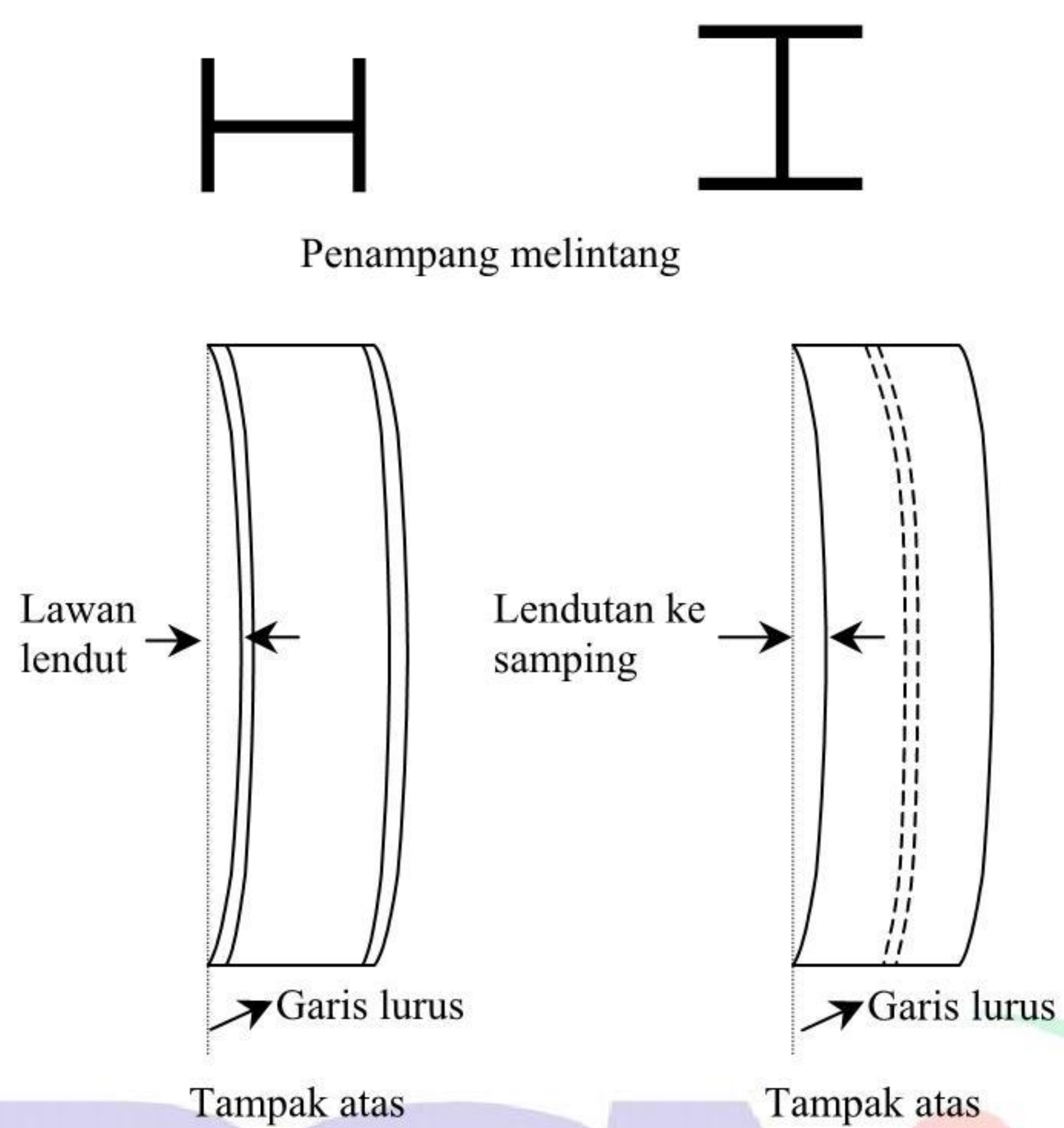
17.4.5 Batang tarik

17.4.5.1 Kelurusan

Suatu komponen struktur tidak boleh menyimpang terhadap garis lurus yang ditarik di antara kedua ujungnya melebihi $L/500$, dengan L adalah panjang antara ujung-ujungnya.

17.4.5.2 Panjang

Panjang suatu komponen struktur tarik tidak boleh menyimpang dari panjang yang ditentukan dengan toleransi 2 mm untuk panjang balok kurang dari 10 m, dan 4 mm untuk panjang balok lebih besar dari 10 m.



Gambar 17.4-7
Pengukuran lawan lendut dan lendutan kesamping.

18. MENDIRIKAN BANGUNAN

18.1 Umum

18.1.1 Penolakan bagian struktur yang telah berdiri

Bagian struktur yang telah berdiri harus ditolak bila:

- a) pelaksanaan tidak memenuhi persyaratan dalam Butir 18.2;
- b) pelaksanaan tidak memenuhi toleransi dalam Butir 18.3.

Meskipun demikian bagian yang telah berdiri tersebut dapat diterima juga bila:

- (i) dapat dibuktikan bahwa struktur cukup memenuhi persyaratan dan dalam penggunaannya tidak menimbulkan bahaya; atau
- (ii) memenuhi persyaratan uji seperti yang disebut dalam Butir 18.

Bagian struktur yang telah berdiri yang tidak memenuhi baik syarat (i) maupun (ii) dan tidak memenuhi baik Butir 18.2 maupun Butir 18.3 harus ditolak.

Baut, mur, dan ring yang merupakan bagian dari suatu struktur yang telah berdiri harus ditolak apabila tidak memenuhi persyaratan seperti yang tercantum dalam Butir 17.3.6, 18.2.4, dan 18.2.5, kecuali bila dapat dibuktikan bahwa baut, mur, dan ring tersebut memenuhi syarat yang cukup secara struktural dan tidak menimbulkan bahaya dalam penggunaannya.

Grouting pada perletakan yang tidak memenuhi persyaratan dalam Butir 18.5 harus ditolak.

18.1.2 Keamanan waktu mendirikan bangunan

Pada saat mendirikan bangunan, pekerjaan baja harus aman terhadap beban-beban yang terjadi selama pelaksanaan, termasuk beban peralatan yang digunakan pada saat pelaksanaan atau operasinya, maupun beban angin.

18.1.3 Tumpuan peralatan

Peralatan yang ditumpu pada bagian struktur baja yang sedang didirikan tidak boleh menimbulkan aksi yang melebihi kapasitas rencana yang diijinkan dalam standar ini.

18.1.4 Suhu referensi

Semua dimensi harus diukur berdasarkan suhu referensi 30°C.

18.2 Prosedur mendirikan bangunan

18.2.1 Umum

Persyaratan yang ditetapkan dalam Butir 17.3 harus dipenuhi selama mendirikan rangka baja dan selama modifikasi pekerjaan baja saat pelaksanaan. Persyaratan yang dimaksud berlaku untuk:

- a) Sambungan tumpu kontak penuh (lihat Butir 17.3.2);
- b) Pemotongan (lihat Butir 17.3.3);
- c) Pengelasan (lihat Butir 17.3.4);
- d) Pelubangan (lihat Butir 17.3.5);
- e) Penyambungan dengan baut (lihat Butir 17.3.6).

Selama masa mendirikan bangunan, semua pekerjaan baja harus dijamin keamanannya, dengan cara dibaut atau diikat, sehingga masih dapat memikul gaya-gaya yang diakibatkan oleh berat peralatan maupun beban yang timbul saat dioperasikannya alat tersebut. Batang pengaku sementara dan pengekan harus tetap terpasang sampai saat struktur yang sudah terpasang cukup kuat untuk berdiri sendiri.

Semua sambungan pada batang pengaku sementara dan komponen struktur sementara lainnya, yang diperlukan pada saat pelaksanaan, harus dibuat sedemikian rupa sehingga tidak memperlemah struktur permanen utama ataupun menimbulkan akibat buruk dalam segi kelayakannya. Pengelasan pada sambungan ataupun pembongkarannya harus memenuhi ketentuan yang berlaku.

18.2.2 Pengangkutan, penyimpanan, dan pengangkatan

Komponen struktur, alat sambung, dan komponen lainnya harus diangkat dan disimpan sedemikian rupa sehingga tidak menimbulkan kerusakan. Perlakuan komponen harus diterapkan untuk mencegah kerusakan pada lapisan pelindung korosi.

Baja harus dijaga agar tidak rusak saat pengangkutan. Pengamanan khusus harus diberikan dengan memperkaku bagian ujung bebas, menghindari distorsi permanen, dan melindungi permukaan bidang kontak. Semua baut, mur, ring, sekrup dan potongan plat harus dikemas dengan baik dan diberi tanda.

18.2.3 Perakitan dan penyetelan

Semua lubang baut atau lubang yang dibuat untuk alat sambung lainnya harus dicocokkan sehingga dapat dibaut dengan mudah. Penggunaan drip untuk penyetelan lubang harus dilakukan dengan baik sehingga tidak merusak baja atau memperbesar lubang.

Setiap bagian struktur harus disetel sesegera mungkin setelah struktur didirikan. Sambungan tidak boleh dikencangkan sebelum struktur

dijajarkan, diratakan, ditegakkan, dan dibuat sambungan sementara, untuk menjamin tidak terjadinya perpindahan posisi pada saat mendirikan atau penyetelan bagian struktur berikutnya.

Setiap baut dan mur harus dipasang dengan paling sedikit satu cincin. Cincin tersebut harus ditempatkan di bawah mur. Apabila suatu permukaan bidang kontak dengan kepala baut ataupun mur mempunyai kemiringan melebihi 1:20 maka harus digunakan cincin baji untuk mengatasi permukaan bidang miring tadi. Komponen yang tidak berputar dipasang setelah ring baji tersebut.

Baut kencang tangan harus dipasang sesuai dengan Butir 18.2.5.2(a).

Ring plat harus digunakan di bawah baut ataupun paku keling untuk setiap pelebaran lubang seperti yang disebutkan dalam Butir 17.3.5.2(b).

18.2.4 Perakitan sambungan dan pengencangan baut

18.2.4.1 Penempatan mur

Mur harus ditempatkan sehingga tanda-tanda untuk identifikasi mur mutu tinggi seperti yang ditetapkan dalam ketentuan untuk baut mutu tinggi yang diakui dapat dibaca setelah pengencangan mur.

18.2.4.2 Paking

Paking harus dipasang apabila dirasa perlu untuk menjamin adanya penyaluran gaya pada saat pengencangan mur sampai kondisi seperti ditentukan dalam Butir 18.2.5.2(a). Semua paking harus terbuat dari baja dengan kondisi permukaannya sama dengan pelat-pelat yang bersebelahan dengannya.

18.2.4.3 Cara pengencangan

Pengencangan tangan dan pengencangan akhir baut-baut dalam suatu sambungan harus dikerjakan mulai dari bagian sambungan yang paling kaku menuju ke tepi bebas.

Baut bermutu tinggi dapat digunakan sementara pada saat mendirikan sampai perakitan, tetapi tidak boleh dikencangkan penuh sampai semua baut pada sambungan terpasang sesuai dengan urutannya.

18.2.4.4 Pengencangan ulang

Pengencangan ulang baut yang pernah dikencang penuh harus dihindari, apabila terpaksa hal ini hanya diijinkan sekali saja dan hanya pada baut dengan posisi lubang yang sama dan dengan perlakuan yang sama pula.

Pengencangan ulang baut galvanis tidak diijinkan.

Dalam kondisi apapun, baut yang pernah dikencangkan penuh tidak boleh digunakan lagi di lubang yang lain.

Pengencangan baut yang sudah dikencangkan sebelumnya, tetapi kemudian kendur lagi akibat pengencangan baut di sebelahnya, tidak dimasukkan dalam kategori pengencangan ulang.

18.2.5 Metode pengencangan

18.2.5.1 Umum

Metode pengencangan harus menurut ketentuan dalam Butir 18.2.5.2 atau Butir 18.2.5.3. Pada saat sambungan selesai terpasang dan semua baut telah kencang, semua baut harus mempunyai gaya tarik minimum seperti yang ditetapkan dalam Tabel 18.2-1.

Tabel 18.2-1 Gaya tarik baut minimum.

| Diameter nominal baut (mm) | Gaya tarik minimum (KN) |
|----------------------------|-------------------------|
| 16 | 95 |
| 20 | 145 |
| 24 | 210 |
| 30 | 335 |
| 36 | 490 |

18.2.5.2 Metode pengencangan putar sebagian

Pengencangan baut dengan metode putar sebagian harus mengikuti prosedur di bawah ini:

- Pada saat perakitan, semua baut dalam sistem sambungan pertama-tama harus dikencangkan sampai kondisi kencang tangan untuk menjamin adanya penyaluran gaya;
- Setelah menyelesaikan pengencangan tangan, harus dibuat suatu tanda untuk menentukan posisi relatif baut dan mur dan mengontrol putaran mur,
Pengamatan putaran akhir mur dapat dilakukan dengan menggunakan kunci soket bertanda, tetapi tanda lokasi harus permanen atau tidak boleh terhapus untuk memudahkan di dalam pengawasan ulang;

- c) Baut harus dikencangkan dengan memutar mur sesuai Tabel 18.2-2. Selama pengencangan akhir, komponen yang tidak diputar dengan kunci tidak boleh berputar.

Tabel 18.2-2 Putaran mur dari kondisi kencang tangan.

| Panjang baut (Bagian bawah kepala baut sampai ujung baut) | Posisi permukaan luar bagian yang dibaut (lihat Catatan 1, 2, 3, 4) | | |
|--|--|--|---------------------------|
| | Semua permukaan tegak lurus terhadap sumbu baut | Satu permukaan tegak lurus terhadap sumbu baut, dan yang lainnya miring | Semua permukaan miring |
| $\leq 4d$ | 1/3 putaran | 1/2 putaran | 2/3 putaran |
| $4d < l \leq 8d$ | 1/2 putaran | 2/3 putaran | 5/6 putaran |
| $8d < l \leq 12d$ (lihat catatan 5) | 2/3 putaran | 5/6 putaran | 1 putaran |

Catatan:

1. Toleransi putaran:
untuk $\leq 1/2$ putaran, $0 < \text{toleransi} \leq 1/12$ putaran (30°)
untuk $\geq 2/3$ putaran, $0 < \text{toleransi} \leq 1/8$ putaran (45°)
2. Gaya tarik baut yang tercapai pada putaran seperti disyaratkan pada Tabel 18.2-2 paling sedikit akan sama dengan gaya tarik baut minimum yang disyaratkan pada Tabel 18.2-1.
3. Putaran mur adalah putaran relatif terhadap baut, tanpa melihat komponen mana yang diputar.
4. Putaran baut yang disyaratkan hanya berlaku untuk sambungan dengan semua bahan yang terjepit adalah baja.
5. Untuk baut yang panjangnya melebihi 12 diameter, putaran yang diperlukan harus ditentukan berdasar pengujian sebenarnya pada suatu alat pengukur gaya tarik yang sesuai yang dapat mensimulasikan kondisi baja yang disambung dengan baut.

18.2.5.3 Pengencangan baut menggunakan peralatan penunjuk gaya tarik langsung¹

Pengencangan baut dengan menggunakan peralatan yang dapat menunjukkan gaya tarik langsung harus memenuhi prosedur di bawah ini:

- a) Peralatan harus dicek dan dikalibrasi untuk menunjukkan kemampuannya. Di dalam kalibrasi harus digunakan minimum tiga buah baut untuk setiap diameter dan mutu baut. Test kalibrasi harus menunjukkan kemampuan alat 1,05 kali kuat tarik minimum baut yang disyaratkan dalam Tabel 18.2-1;

¹ Pengencangan dengan menggunakan peralatan penunjuk gaya tarik baut harus disesuaikan pula dengan spesifikasi teknis dari pabrik pembuatnya.

- b) Dalam perakitan, semua baut dan mur dalam sambungan harus dikencangkan sampai kondisi kencang tangan seperti ketentuan dalam Butir 18.2.5.2 (a);
- c) Setelah mencapai kondisi kencang tangan, baut harus dikencangkan sampai mencapai gaya tarik minimum baut seperti yang ditetapkan dalam Butir 18.2.5.1. Ini harus ditunjukkan oleh peralatan yang digunakan.

18.3 Toleransi

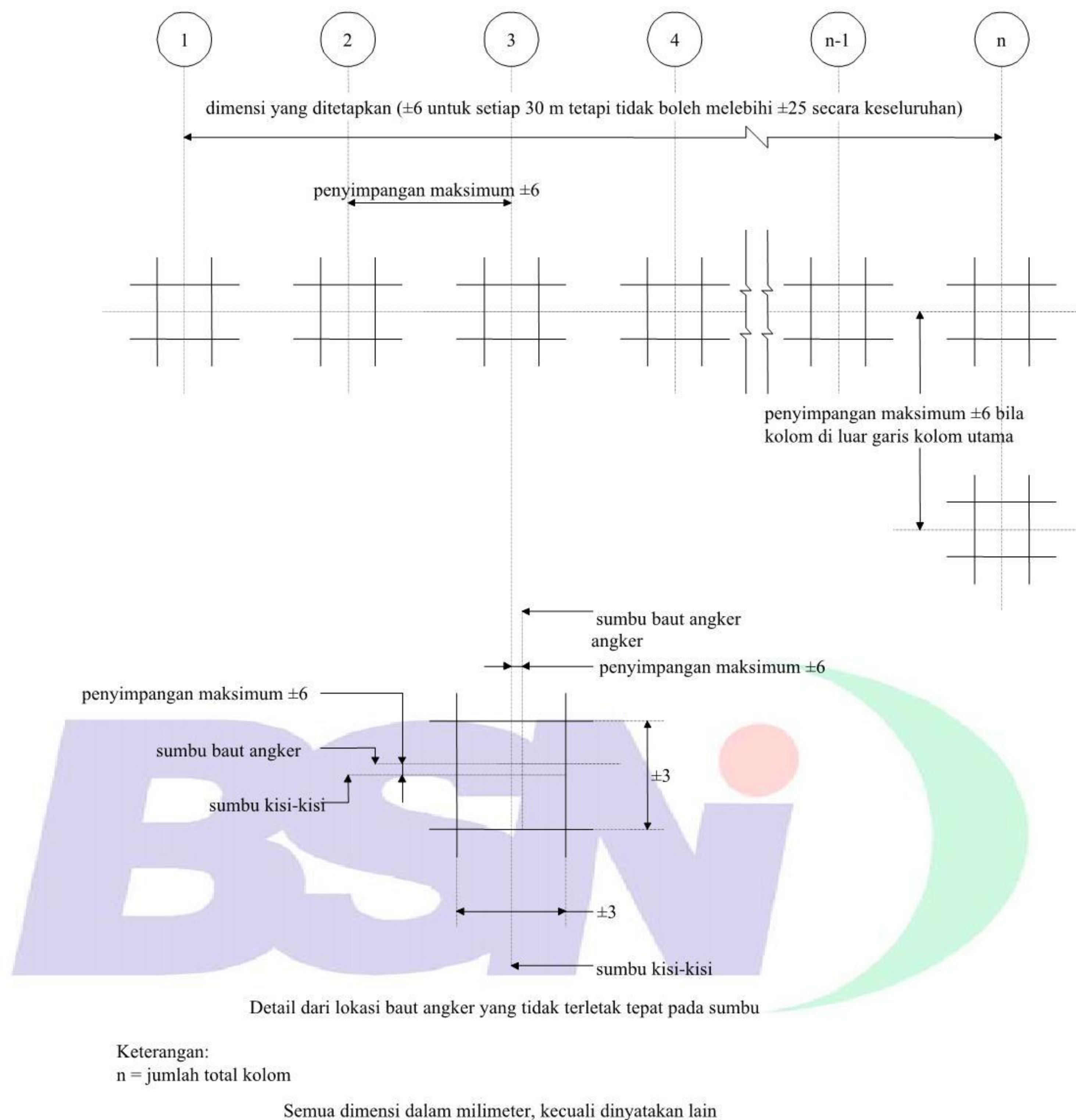
18.3.1 Lokasi baut angker

Baut angker harus tetap pada posisi arah vertikal maupun horizontal. Baut angker harus dipasang sesuai dengan gambar kerja. Batasan posisi pemasangan sesuai dengan gambar kerja tidak boleh melebihi ketentuan sebagai berikut (lihat Gambar 18.3-1):

- a) 3 mm untuk jarak pusat ke pusat antara dua buah sembarang baut dalam satu kelompok baut angker, di mana kelompok baut angker ini merupakan satu set baut angker yang menerima satu komponen struktur baja tunggal;
- b) 6 mm untuk jarak pusat ke pusat kelompok baut angker yang berdekatan;
- c) Akumulasi maksimum 6 mm per 30.000 mm sepanjang garis kolom yang melewati beberapa kelompok baut angker, tetapi tidak lebih dari total 25 mm. Garis kolom adalah garis baut di lapangan yang menghubungkan pusat sumbu kelompok angker;
- d) 6 mm dari pusat kelompok baut angker ke garis kolom yang ditentukan.

Baut angker harus dipasang tegak lurus terhadap permukaan perletakan teoritis, ulir harus dilindungi dan bebas dari beton, dan mur harus dapat terpasang dengan mudah.

Proyeksi ujung baut angker dari permukaan perletakan teoritis tidak boleh lebih panjang 25 mm ataupun lebih pendek 5 mm dari yang ditentukan.



Gambar 18.3-1
Toleransi peletakan baut angker.

18.3.2 Perletakan Kolom

18.3.2.1 Posisi pada denah

Posisi perletakan kolom pada denah tidak boleh menyimpang lebih dari 6 mm terhadap masing-masing sumbu utama bangunan.

18.3.2.2 Ketinggian

Ketinggian pelat landas kolom tidak boleh menyimpang lebih dari 10 mm terhadap posisi yang seharusnya.

18.3.2.3 Kontak penuh

Apabila disyaratkan perletakan kolom dengan bidang kontak penuh maka ketentuan dalam Butir 17.4.4.2 harus dipenuhi, kecuali jika digunakan alat bantu untuk mengurangi celah sehingga memenuhi ketentuan dalam butir tersebut. Peralatan bantu penumpu harus datar dan terbuat dari baja yang sama mutunya dengan komponen struktur utamanya. Apabila diperlukan adanya grouting maka harus ditempatkan sedemikian rupa sehingga grouting bisa menyelimuti peralatan bantu tersebut dengan ketebalan minimum 50 mm.

18.3.3 Pengelotan pada komponen struktur tekan

Penyetelan dan pengelotan batang tekan harus mengikuti dua ketentuan berikut ini:

- a) Penyimpangan terhadap posisi yang sebenarnya dari setiap titik di atas perletakan komponen struktur tekan tidak boleh lebih dari $1/500 \times$ tinggi, atau yang terkecil dari:
 - (i) Untuk suatu titik sampai dengan ketinggian 60 m dari perletakan komponen, 25 mm;
 - (ii) Untuk suatu titik lebih dari 60 m dari perletakan komponen, 25 mm ditambah 1 mm untuk setiap kenaikan 3 m, sampai maksimum 50 mm.
- b) Penyimpangan ujung atas komponen struktur tekan dari posisi sebenarnya relatif terhadap dasar pada suatu tingkat tidak boleh lebih dari $1/500$ tinggi tingkat.

18.3.4 Sambungan kolom

Pelat sambung kolom harus sesuai dengan ketentuan berikut ini:

- a) Ketinggian bidang sambungan kolom tidak boleh menyimpang lebih dari 10 mm terhadap ketinggian yang seharusnya;
- b) Posisi sambungan kolom pada denah harus sesuai dengan persyaratan toleransi pengelotan yang ditetapkan dalam Butir 18.3.3;
- c) Penyimpangan relatif posisi mendatar dalam arah masing-masing sumbu utama bangunan dari dua komponen struktur yang disambungkan tidak boleh melebihi 2 mm dari yang seharusnya.

18.3.5 Ketinggian dan penyetelan balok

Dalam mendirikan struktur, balok dapat dianggap terpasang secara benar apabila:

- a) semua sambungan dan pelat sambungannya telah terpasang sempurna;

- b) lendutan lateral maksimum yang terjadi kurang dari $L_b/500$, dimana L_b adalah jarak antara titik-titik yang terkekang secara efektif;
- c) balok berada pada ± 10 mm dari ketinggian seharusnya pada sambungan dengan komponen struktur lainnya; penyimpangan balok terhadap ketinggian rencana pada sambungan dengan komponen struktur lainnya tidak lebih dari 10 mm;
- d) pada sambungan dengan komponen struktur lainnya, penyimpangan horisontal pelat sayap balok tidak boleh lebih besar dari 3 mm terhadap posisi seharusnya.

18.3.6 Posisi komponen struktur tarik

Komponen struktur tarik tidak boleh menyimpang lebih dari 3 mm terhadap posisi relatif komponen struktur lain yang tersambung kepadanya, diukur sepanjang sumbu pemasangan.

18.3.7 Ukuran bangunan secara keseluruhan

Ukuran bangunan secara keseluruhan tidak boleh menyimpang dari ukuran sebenarnya melebihi ketentuan berikut ini:

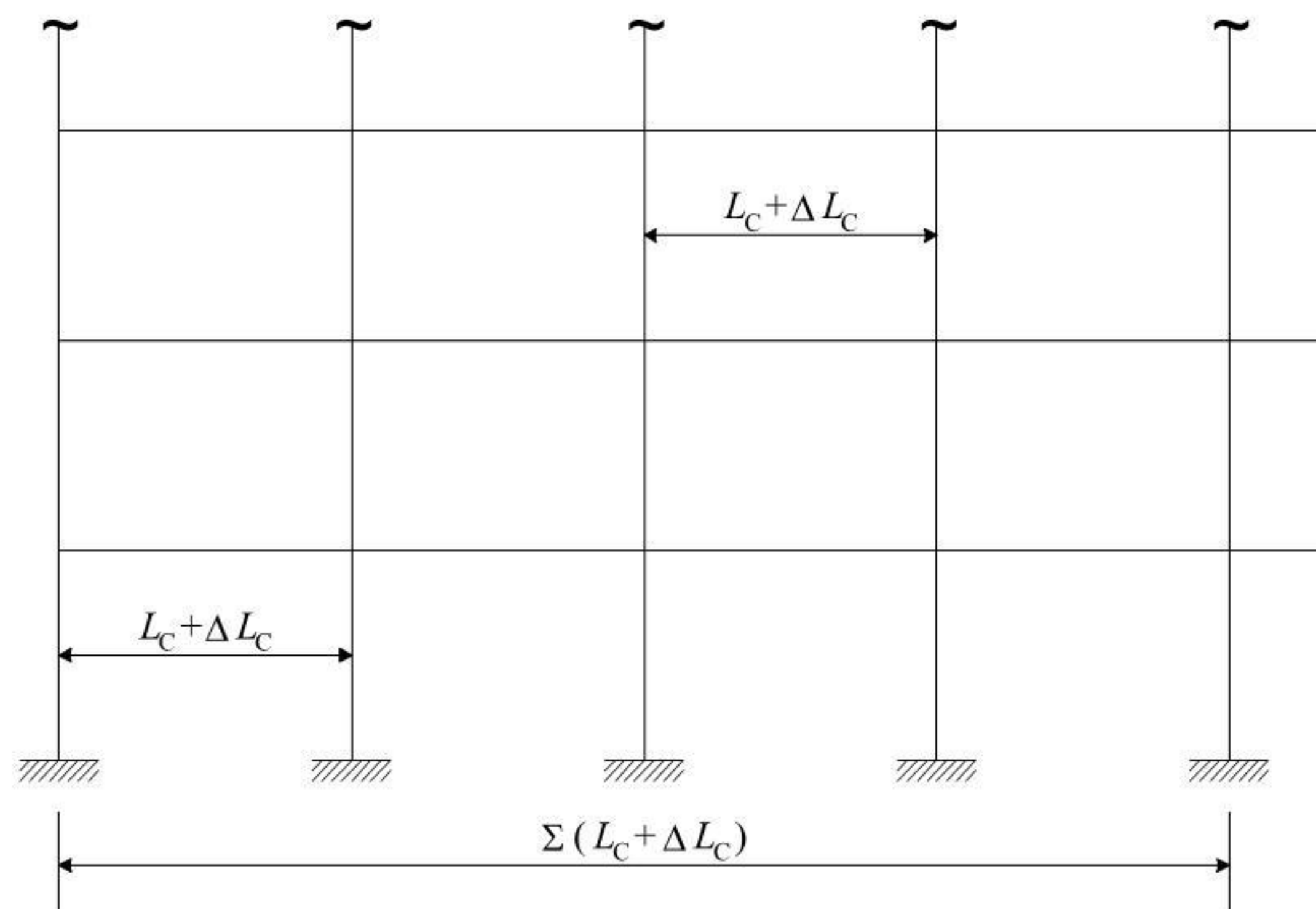
- a) Panjang (lihat Gambar 18.3-2):
 untuk $\Sigma L_c \leq 30$ m, $\Sigma \Delta L_c \leq 20$ mm
 untuk $\Sigma L_c > 30$ m, $\Sigma \Delta L_c \leq \{20 \text{ mm} + 0,25 (\Sigma L_c - 30) \text{ mm}\}$
- b) Tinggi (lihat Gambar 18.3-3):
 untuk $\Sigma h_b \leq 30$ m, $\Sigma \Delta h_b \leq 20$ mm
 untuk $\Sigma h_b > 30$ m, $\Sigma \Delta h_b \leq \{20 \text{ mm} + 0,25 (\Sigma h_b - 30) \text{ mm}\}$

dengan ketentuan bahwa:

- i) jarak antar sumbu kolom yang berdekatan (L_c) pada setiap potongan tidak boleh menyimpang lebih dari 15 mm dari jarak sebenarnya;
- ii) jarak vertikal antara permukaan atas balok (h_b) antar tingkat pada setiap potongan tidak boleh menyimpang lebih dari 20 mm dari jarak yang sebenarnya;
- iii) toleransi lainnya dalam butir ini mengikat.

Untuk kelengkapan dalam butir ini:

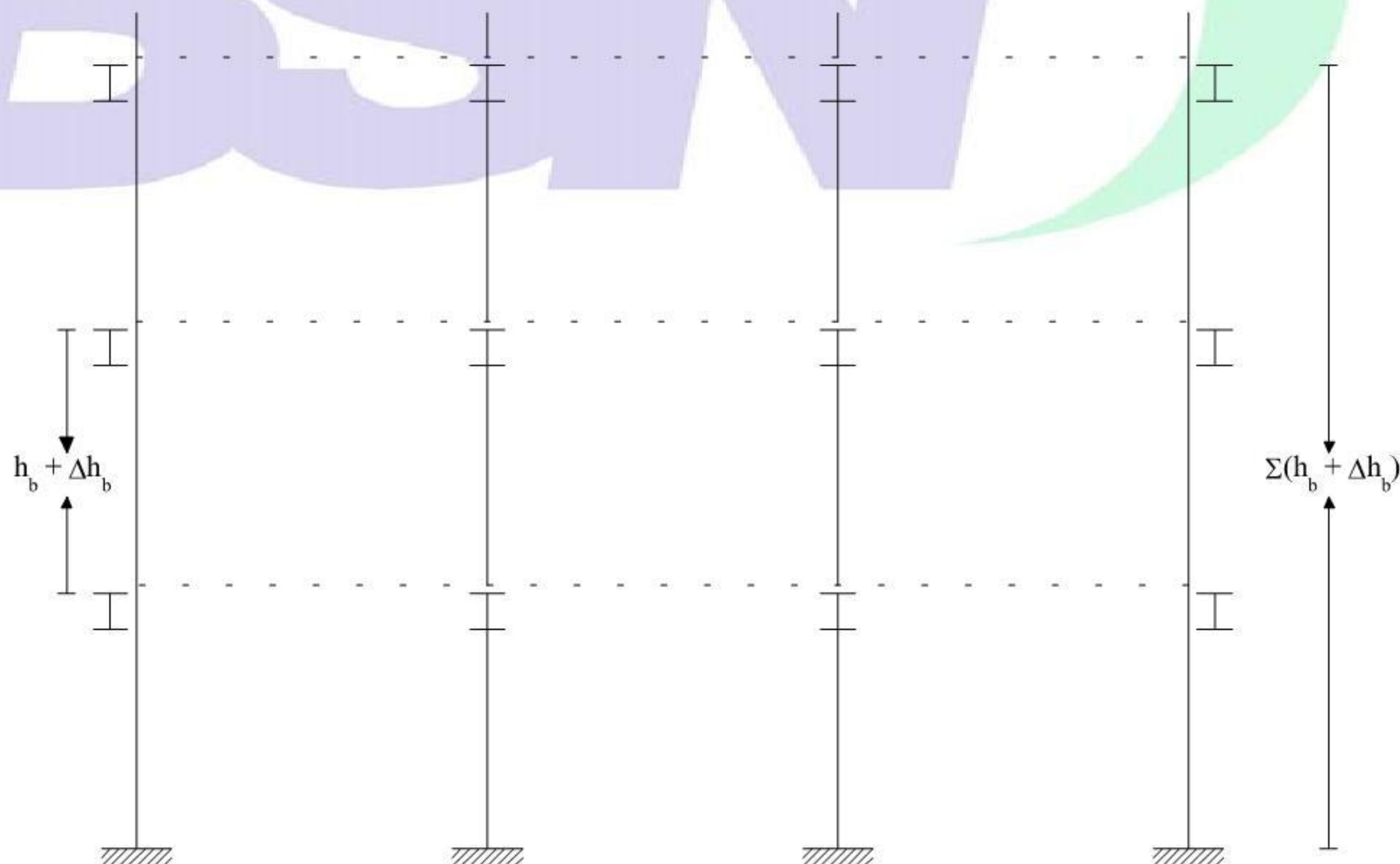
- ΣL_c adalah panjang keseluruhan struktur baja sebenarnya yaitu jarak sumbu ke sumbu kolom terluar seperti pada Gambar 18.3-2, pada setiap potongan sepanjang bangunan; dan
- Σh_b adalah tinggi keseluruhan konstruksi baja sebenarnya yaitu jarak vertikal dari dasar kolom terbawah sampai ke permukaan lantai teratas, pada setiap potongan sepanjang bangunan.



Keterangan:

- L_c adalah jarak antar kolom, meter;
- ΔL_c adalah penyimpangan dari L_c , mm;
- ΣL_c adalah panjang keseluruhan struktur baja yang sebenarnya, meter;
- $\Sigma \Delta L_c$ adalah penyimpangan terhadap ΣL_c , mm.

Gambar 18.3-2
Penyimpangan terhadap panjang (penampang tegak).



Gambar 18.3-3
Penyimpangan terhadap ketinggian (penampang tegak).

Keterangan:

- h_b adalah jarak vertikal antara permukaan atas balok antar tingkat, meter;
- Δh_b adalah penyimpangan terhadap h_b , mm;

Σh_b adalah tinggi keseluruhan baja yang sebenarnya, meter;
 $\Sigma \Delta h_b$ adalah penyimpangan terhadap Σh_b , mm.

18.4 Pemeriksaan terhadap sambungan baut

18.4.1 Baut tarik

Metode pengencangan seperti yang disyaratkan dalam Butir 18.2.5 harus sesuai dengan ketentuan di bawah ini:

- a) Pengencangan putar sebagian - pengencangan yang benar dari posisi kencang tangan harus terukur dan teramati;
- b) Peralatan dengan penunjuk tegangan - tegangan minimum yang terjadi pada baut harus ditunjukkan langsung oleh peralatan tersebut;
- c) Rekomendasi dari pabrik untuk prosedur pemeriksaan harus diikuti apabila digunakan peralatan dengan penunjuk tegangan tarik;
- d) Penggunaan kunci torsi hanya dapat digunakan untuk mengetahui secara kasar kekurangan tegangan dari yang disyaratkan.

18.4.2 Komponen yang rusak

Baut, mur, dan ring yang secara visual menunjukkan kerusakan atau cacat fisik harus diganti dengan yang baru.

18.5 Grouting pada tumpuan

18.5.1 Landasan komponen struktur tekan dan balok

Dudukan pelat landas komponen struktur tekan atau pelat landas balok pada konstruksi batu kali atau beton harus diisi dengan adukan semen atau bahan grouting.

Grouting atau paking hanya boleh dilakukan bila bagian struktur tersebut (sejumlah tertentu kolom-kolom bawah pada bangunan bertingkat) telah dijajarkan, diratakan, dilot, dan terpegang serta diperkaku oleh bagian struktur lainnya yang telah terpasang sempurna. Paking baja atau mur perata pada baut angker harus berada di bawah plat landas untuk menyokong struktur baja. Ruang yang terdapat di

bawah pelat landas baja harus dibersihkan dan bebas dari kelembaban sesaat sebelum digrouting.

18.5.2 Grouting

Bahan grouting harus secara sempurna mengisi ruangan yang ada dengan tekanan. Bahan grouting harus sesuai dengan ketentuan yang berlaku.



19. PERUBAHAN STRUKTUR YANG SUDAH ADA

19.1 Umum

Ketentuan-ketentuan dalam standar ini berlaku juga untuk perubahan struktur yang sudah ada atau bagian-bagiannya, kecuali jika ditentukan lain dalam butir ini.

19.2 Material

Jenis logam dasar yang digunakan harus ditentukan sebelum menyiapkan gambar dan spesifikasi yang mencakup perkuatan, perbaikan, atau prosedur pengelasan struktur yang sudah ada atau bagian dari struktur tersebut.

19.3 Pembersihan

Permukaan material yang ada, yang harus diperkuat, diperbaiki, atau dilas, harus dibersihkan dari kotoran, karat, atau benda asing lainnya kecuali yang berkaitan dengan perlindungan permukaan. Bagian permukaan yang akan dilas tersebut harus dibersihkan dari segala benda asing, termasuk lapisan cat, dalam jarak 50 mm dari kedua sisi terluar pengelasan.

19.4 Pengaturan khusus

19.4.1 Pengelasan dan pemotongan

Kapasitas batang yang sedang dilas atau dipotong harus ditentukan sesuai ketentuan dalam standar ini, dengan memperhitungkan bagian dari penampang yang menjadi panas akibat pengelasan dan pemotongan tersebut.

19.4.2 Urutan pengelasan

Urutan pengelasan harus dipilih sedemikian rupa sehingga meminimumkan distorsi batang tersebut dan menjaga kelurusan di dalam batas-batas yang disyaratkan pada Butir 17.4.3, 17.4.4, dan 17.4.5.

20. PENGUJIAN STRUKTUR ATAU KOMPONEN STRUKTUR

20.1 Umum

20.1.1 Ruang lingkup

Metode pengujian pada butir ini dapat digunakan untuk pembuktian dan pengujian prototipe dari struktur lengkap, komponen struktur, elemen, atau sambungan. Metode-metode tersebut tidak dapat digunakan untuk menguji model struktur atau untuk menetapkan kriteria perencanaan umum atau data.

20.1.2 Hal-hal yang memerlukan pengujian

Struktur atau bagian dari struktur yang direncanakan sesuai dengan standar ini tidak perlu diuji. Pengujian dapat diterima sebagai alternatif terhadap perhitungan atau bila diperlukan dalam suatu keadaan khusus.

20.2 Definisi

Pada butir ini berlaku definisi-definisi sebagai berikut:

Pengujian pembuktian adalah penerapan beban-beban uji pada suatu struktur, komponen struktur, elemen, atau sambungan, untuk mengetahui atau memastikan karakteristik struktur yang diuji tersebut.

Pengujian prototipe adalah penerapan beban-beban uji pada satu atau lebih struktur, komponen struktur, elemen atau sambungan, untuk mengetahui atau memastikan karakteristik dari kelompok struktur, komponen struktur, elemen, atau sambungan tersebut yang secara nominal identik dengan unit yang diuji.

20.3 Persyaratan pengujian

Beban uji harus ditentukan menurut Butir 20.4.2 atau Butir 20.5.2, sesuai dengan jenis pengujian yang dilakukan. Peralatan pembebanan harus dikalibrasi dan harus diperhatikan agar tidak terdapat pengekanan artifisial yang diakibatkan oleh sistem pembebanan tersebut. Beban uji harus diterapkan terhadap unit yang diuji dengan kecepatan pembebanan yang sedapat mungkin tidak berubah.

Distribusi dan lamanya gaya-gaya yang diterapkan pada pengujian tersebut harus dapat mewakili gaya-gaya yang dipandang akan bekerja terhadap struktur sesuai dengan ketentuan pada Butir 6.

Sebagai persyaratan minimum, deformasi harus dicatat pada saat-saat berikut ini:

- a) Sebelum pembebanan;
- b) Sesudah beban uji diterapkan;
- c) Sesudah beban uji dihilangkan.

20.4 Pengujian pembuktian

20.4.1 Penerapan

Ayat ini dapat diterapkan untuk pengujian suatu struktur, komponen struktur, elemen, atau sambungan, untuk menentukan apakah struktur, komponen struktur, elemen, atau sambungan tersebut memenuhi persyaratan kekuatan batas atau kelayakan batas yang sesuai.

20.4.2 Beban uji

Beban uji harus sama dengan beban rencana untuk keadaan batas yang relevan.

20.4.3 Kriteria penerimaan

Kriteria penerimaan adalah sebagai berikut:

- a) Untuk kekuatan: struktur, komponen struktur, elemen, atau sambungan yang diuji dapat dianggap memenuhi syarat kekuatan bila ia mampu bertahan terhadap beban uji kekuatan batas selama paling sedikit 15 menit. Struktur ini kemudian harus diperiksa untuk menentukan jenis dan besarnya kerusakan yang terjadi selama pengujian. Pengaruh kerusakan harus ditinjau dan bila perlu dilakukan perbaikan terhadap bagian-bagian yang rusak;
- b) Untuk kemampuan layan: deformasi maksimum struktur atau komponen struktur yang diuji pada beban batas layan harus berada dalam batas-batas layan yang sesuai untuk struktur itu

20.5 Pengujian prototipe

20.5.1 Benda uji

Mutu material dan pembuatan prototipe harus memenuhi Butir 5 dan 17. Setiap persyaratan tambahan dari spesifikasi pembuatan harus dipenuhi dan cara mendirikan yang digunakan harus mensimulasikan cara yang akan digunakan dalam produksi.

20.5.2 Beban uji

Beban uji harus sama dengan beban rencana untuk keadaan batas yang bersangkutan, dikalikan dengan faktor yang sesuai pada Tabel

20.5, kecuali bila suatu analisis keandalan memperlihatkan bahwa suatu nilai yang lebih kecil dapat dipakai.

20.5.3 Kriteria penerimaan

Kriteria penerimaan adalah sebagai berikut:

- a) Untuk kekuatan: Unit yang diuji dapat dianggap memenuhi syarat kekuatan bila mampu memikul beban uji kekuatan batas selama paling sedikit 5 menit;
- b) Untuk kemampuan layan: Deformasi maksimum yang diuji pada beban uji kemampuan layan batas harus berada dalam batas-batas layan struktur tersebut.

20.5.4 Penerimaan unit-unit yang diproduksi

Unit-unit yang diproduksi harus sama dalam segala hal dengan unit yang diuji.

Tabel 20.5 Faktor-faktor untuk memperhitungkan variabilitas dari unit struktural.

| Jumlah unit tipikal | Keadaan kekuatan batas | Keadaan kemampuan layan batas |
|---------------------|------------------------|-------------------------------|
| 1 | 1,5 | 1,2 |
| 2 | 1,4 | 1,2 |
| 3 | 1,3 | 1,2 |
| 4 | 1,3 | 1,1 |
| 5 | 1,3 | 1,1 |
| 10 | 1,2 | 1,1 |

20.6 Laporan pengujian

Laporan pengujian dari setiap unit selain harus berisi hasil pengujian juga harus berisi penjelasan mengenai kondisi-kondisi pengujian, termasuk cara pembebanan dan cara pengukuran lendutan, bersama-sama dengan data lain yang berkaitan. Laporan harus juga berisi penjelasan mengenai apakah struktur atau komponen struktur yang diuji tersebut memenuhi kriteria penerimaan.

LAMPIRAN A

DAFTAR NOTASI

Butir 6 PERSYARATAN UMUM PERENCANAAN

| | |
|------------|--|
| D | adalah beban mati yang diakibatkan oleh berat konstruksi permanen, termasuk dinding, lantai, atap, plafon, partisi tetap, tangga, dan peralatan tetap |
| E | adalah beban gempa |
| F | adalah beban fluida |
| H | adalah beban hujan, tidak termasuk yang diakibatkan genangan air |
| L | adalah beban hidup yang ditimbulkan oleh penggunaan gedung, termasuk kejut, tetapi tidak termasuk beban lingkungan seperti angin, hujan, dan lain-lain |
| L_a | adalah beban hidup di atap yang ditimbulkan selama perawatan oleh pekerja, peralatan, dan material, atau selama penggunaan biasa oleh orang dan benda bergerak |
| R_u | adalah beban terfaktor atau kuat perlu |
| W | adalah beban angin |
| ϕR_n | adalah kuat rencana |
| ϕ | adalah faktor reduksi |

Butir 7 BEBERAPA METODE DALAM ANALISIS STRUKTUR

| | |
|----------|---|
| A_b | adalah luas penampang bruto, mm ² |
| b | adalah lebar elemen penampang, mm |
| c_m | adalah faktor yang menghubungkan diagram momen aktual dengan diagram momen ekuivalen |
| f_{cr} | adalah tegangan kritis penampang tertekan, MPa |
| f_y | adalah tegangan leleh material, MPa |
| G | adalah faktor kekangan akibat adanya batang lentur yang merangka ke batang tekan yang sedang ditinjau |
| H | adalah gaya horizontal, N |
| I | adalah momen inersia, mm ⁴ |
| k_c | adalah faktor panjang tekuk |
| L | adalah tinggi tingkat atau panjang komponen struktur tekan, mm |
| L_b | adalah panjang bagian pelat sayap tekan tanpa pengekang lateral, mm |

| | |
|------------------|--|
| L_{pd} | adalah batas panjang bagian pelat sayap tekan tanpa pengekang lateral, mm |
| M_1 | adalah momen ujung yang terkecil, N-mm |
| M_2 | adalah momen ujung yang terbesar, N-mm |
| M_{ltu} | adalah momen lentur terfaktor orde pertama yang diakibatkan oleh beban-beban yang dapat menimbulkan goyangan, N-mm |
| M_{ntu} | adalah momen lentur terfaktor orde pertama yang diakibatkan oleh beban-beban yang tidak menimbulkan goyangan, N-mm |
| M_{nx}, M_{ny} | adalah momen lentur nominal penampang komponen struktur masing-masing terhadap sumbu- x dan $-y$, N-mm |
| M_u | adalah momen lentur terfaktor atau momen perlu, N-mm |
| M_{ux}, M_{uy} | adalah momen lentur terfaktor masing-masing terhadap sumbu- x dan $-y$, N-mm |
| N_{cr} | adalah beban kritis elastis, N |
| N_{crb} | adalah beban kritis elastis untuk komponen struktur tak bergoyang, N |
| N_{crs} | adalah beban kritis elastis untuk komponen struktur dengan goyangan, N |
| N_n | adalah kuat aksial nominal komponen struktur, N |
| N_u | adalah beban aksial terfaktor, N |
| r_y | adalah jari-jari girasi terhadap sumbu lemah, mm |
| t | adalah tebal, mm |
| β_m | adalah perbandingan momen terkecil dan terbesar yang bekerja pada ujung-ujung komponen struktur |
| Δ_{oh} | adalah simpangan antar lantai pada tingkat yang sedang ditinjau |
| ΣH | adalah jumlah gaya horizontal yang menghasilkan Δ_{oh} pada tingkat yang ditinjau, N |
| ΣN_u | adalah jumlah gaya aksial tekan terfaktor akibat beban gravitasi untuk seluruh kolom pada satu tingkat, N |
| δ | adalah faktor amplifikasi momen |
| δ_b | adalah faktor amplifikasi momen untuk komponen struktur yang tidak dapat bergoyang |
| δ_s | adalah faktor amplifikasi momen untuk komponen struktur yang dapat bergoyang |
| ϕ | adalah faktor reduksi |
| λ_c | adalah parameter kelangsingan batang tekan |
| λ_p | adalah batas perbandingan lebar terhadap tebal untuk penampang kompak |

λ_r adalah batas perbandingan lebar terhadap tebal untuk penampang tak kompak

Butir 8 KOMPONEN STRUKTUR LENTUR

A adalah luas penampang, mm²
 a adalah jarak antara dua pengaku vertikal, mm
 A_e adalah luas efektif penampang, mm²
 A_f adalah luas efektif pelat sayap, mm²
 a_r adalah perbandingan luas pelat badan terhadap pelat sayap tekan
 A_s adalah luas pengaku, mm²
 A_w adalah luas pelat badan, mm²
 b adalah lebar pelat atau penampang, mm
 b_f adalah lebar pelat sayap, mm
 b_{cf} adalah lebar pelat sayap penampang kolom, mm
 b_s adalah lebar pengaku, mm
 C_b adalah koefisien pengali momen tekuk torsi lateral
 C_r adalah konstanta untuk penentuan kekuatan tekuk lateral pelat badan
 C_v adalah rasio kuat geser
 D adalah diameter penampang pipa, mm
 d adalah tinggi penampang, mm
 d_b adalah tinggi penampang balok, mm
 d_c adalah tinggi penampang kolom, mm
 d_f adalah jarak antara titik berat pelat sayap, mm
 E adalah modulus elastisitas baja, MPa
 f_c adalah tegangan acuan untuk momen kritis tekuk torsi lateral, MPa
 f_{cr} adalah tegangan kritis, MPa
 f_f adalah tegangan leleh atau kritis pada pelat sayap tekan, MPa
 f_L adalah tegangan leleh dikurangi tegangan sisa, MPa
 f_r adalah tegangan sisa, MPa
 f_y adalah tegangan leleh, MPa
 G adalah modulus geser baja, MPa
 h adalah tinggi bersih balok pelat berdinding penuh, mm
 I_s adalah momen inersia pengaku terhadap muka pelat badan, mm⁴
 I_w adalah konstanta puntir lengkung, mm⁶
 J adalah konstanta puntir torsi, mm⁴
 k adalah tebal pelat sayap ditambah hari-jari peralihan, mm
 k_c adalah faktor kelangsingan pelat badan

| | |
|----------|--|
| k_v | adalah koefisien tekuk geser pelat |
| L | adalah panjang bentang antara dua pengekang lateral yang berdekatan, mm |
| L_p | adalah panjang bentang maksimum untuk balok yang mampu menerima momen plastis, mm |
| L_r | adalah panjang bentang minimum untuk balok yang kekuatannya mulai ditentukan oleh momen kritis tekuk torsi lateral, mm |
| L_w | adalah ukuran lubang pelat badan bagian dalam yang terbesar, mm |
| M_u | adalah momen lentur perlu, N-mm |
| M_{cr} | adalah momen kritis terhadap tekuk torsi lateral, N-mm |
| M_f | adalah kuat lentur nominal dihitung hanya dengan pelat sayap saja, N-mm |
| M_p | adalah momen lentur yang menyebabkan seluruh penampang mengalami tegangan leleh, N-mm |
| M_r | adalah momen batas tekuk, N-mm |
| M_n | adalah kuat lentur nominal balok, N-mm |
| M_{ux} | adalah kuat lentur perlu terhadap sumbu-x, N-mm |
| M_{uy} | adalah kuat lentur perlu terhadap sumbu-y, N-mm |
| M_y | adalah momen lentur yang menyebabkan penampang mulai mengalami tegangan leleh, N-mm |
| N_y | adalah gaya aksial yang menyebabkan kolom mengalami tegangan leleh, N |
| N | adalah dimensi longitudinal dari perletakan atau tumpuan, N |
| R | adalah koefisien balok pelat ber dinding penuh, N |
| R_b | adalah kuat tumpu nominal pelat badan akibat beban terpusat atau setempat atau terhadap tekuk, N |
| R_v | adalah kuat geser panel, N |
| r_t | adalah jari-jari girasi daerah pelat sayap ditambah sepertiga bagian pelat badan yang mengalami tekan, mm |
| r_y | adalah jari-jari girasi terhadap sumbu lemah, mm |
| S | adalah modulus penampang, mm ³ |
| t_{cf} | adalah tebal pelat sayap penampang kolom, mm |
| t_f | adalah tebal pelat sayap, mm |
| t_s | adalah tebal pengaku, mm |
| t_w | adalah tebal pelat badan, mm |
| V_u | adalah gaya geser perlu, N |
| V_v | adalah kuat geser nominal pelat badan, N |
| X_1 | adalah koefisien untuk perhitungan momen tekuk torsi lateral, MPa |

| | |
|-------------|--|
| X_2 | adalah koefisien untuk perhitungan momen tekuk torsi lateral, $(1/\text{MPa})^2$ |
| λ | adalah kelangsingan |
| λ_G | adalah kelangsingan balok pelat berdinding penuh |
| ϕ | adalah faktor reduksi |
| λ_p | adalah batas maksimum untuk penampang kompak |
| λ_r | adalah batas maksimum untuk penampang tak-kompak |

Butir 9 KOMPONEN STRUKTUR TEKAN

| | |
|-----------|---|
| a | adalah jarak antara dua pusat titik berat elemen komponen struktur, mm |
| A | adalah luas penampang komponen struktur tersusun, mm^2 |
| A_d | adalah luas penampang satu unsur diagonal, mm^2 |
| D_u | adalah gaya lintang akibat beban terfaktor, N |
| e_x | adalah eksentrisitas seperti terlihat pada Gambar 9.8-2, mm |
| f_{cry} | adalah dihitung sesuai dengan persamaan (7.6-4), untuk tekuk lentur terhadap sumbu lemah y , dan dengan menggunakan harga λ_c , yang dihitung dengan rumus, MPa |

$$\lambda_c = \frac{L_{ky}}{\pi r_y} \sqrt{\frac{f_y}{E}}$$

| | |
|-------|---|
| I_p | adalah momen inersia pelat kopel; untuk pelat kopel di muka dan di belakang yang tebalnya t dan tingginya h , mm^4 , maka: |
|-------|---|

$$I_p = 2 \times \frac{1}{12} t h^3$$

| | |
|----------|--|
| I_l | adalah momen inersia sebuah elemen pada komponen struktur tersusun terhadap sumbu yang memberikan nilai terkecil (sumbu $l-l$), mm^4 |
| L_{kx} | adalah panjang tekuk komponen struktur tersusun pada arah tegak lurus sumbu $x-x$, dengan memperhatikan pengekang lateral yang ada, dan kondisi jepitan ujung-ujung komponen struktur, mm |
| L_{ky} | adalah panjang tekuk komponen struktur tersusun pada arah tegak lurus sumbu $y-y$, dengan memperhatikan pengekang lateral yang ada dan kondisi jepitan ujung-ujung komponen struktur, mm |
| L_d | adalah panjang unsur diagonal, mm |
| L_l | adalah panjang elemen pada komponen struktur, yang dibatasi oleh dua ujung unsur penghubung, mm |
| m | adalah konstanta seperti tercantum pada Gambar 9.3-1 |
| n | adalah jumlah unsur diagonal pada suatu potongan mendatar dari komponen struktur tersusun |

| | |
|--|--|
| N_n | adalah kuat tekan nominal komponen struktur, N |
| N_u | adalah kuat tekan perlu yang merupakan gaya aksial tekan akibat beban terfaktor, N |
| r_x | adalah jari-jari girasi komponen struktur terhadap sumbu $x-x$, mm |
| r_y | adalah jari-jari girasi komponen struktur terhadap sumbu $y-y$, mm |
| r_{min} | adalah jari-jari girasi komponen struktur tersusun terhadap sumbu yang memberikan nilai yang terkecil (sumbu $l-l$), mm |
| x_o, y_o | adalah koordinat pusat geser terhadap titik berat penampang, mm |
| z | adalah konstanta yang tercantum pada masing-masing gambar (lihat Gambar 9.4-1) |
| α | adalah sudut antara unsur diagonal dengan elemen vertikal pada komponen struktur tersusun |
| ω_x | adalah koefisien tekuk yang ditentukan dengan mengambil panjang tekuk L_{kx} sama dengan 0,7 kali panjang skematisnya dan jari-jari girasinya, r_x |
| ω_{max} | adalah koefisien tekuk komponen struktur pada rangka batang yang ditentukan dengan mengambil panjang tekuk L_k sama dengan panjang skematisnya, dan jari-jari girasi r_η terhadap sumbu η (lihat Gambar 9.8-2) |
| ϕ_n | adalah faktor reduksi kekuatan |
| Butir 10 KOMPONEN STRUKTUR YANG MENGALAMI GAYA TARIK AKSIAL | |
| A | adalah luas penampang menurut Butir 10.2.1 sampai dengan 10.2.4, mm ² |
| A_g | adalah luas penampang kotor, mm ² |
| A_e | adalah luas penampang efektif menurut Butir 10.2, mm ² |
| d | adalah diameter lubang baut, mm |
| f_y | adalah tegangan leleh, MPa |
| f_u | adalah tegangan tarik putus, MPa |
| L | adalah panjang sambungan dalam arah gaya tarik, yaitu panjang pengelasan atau jarak antara dua baut yang terjauh pada sebuah sambungan, mm |
| l | adalah panjang pengelasan, mm |
| n | adalah banyaknya lubang dalam garis potongan penampang |
| N_n | adalah kuat tarik nominal, N |
| N_u | adalah kuat tarik perlu yang merupakan gaya aksial tarik akibat beban terfaktor, N |
| s | adalah jarak antara sumbu lubang pada arah sejajar sumbu komponen struktur, mm |
| t | adalah tebal penampang, mm |
| U | adalah faktor reduksi |

| | |
|-----------------|--|
| u | adalah jarak antara sumbu lubang pada arah tegak lurus sumbu komponen struktur, mm |
| w | adalah jarak antar sumbu pengelasan, mm |
| \underline{x} | adalah adalah eksentrisitas sambungan, jarak tegak lurus arah gaya tarik, antara titik berat penampang komponen yang disambung dengan bidang sambungan, mm |
| ϕ | adalah faktor reduksi kekuatan (lihat Tabel 6.4-1) , mm |

Butir 11 KOMPONEN STRUKTUR YANG MENGALAMI GAYA KOMBINASI

| | |
|------------------|---|
| B | adalah lebar luar penampang kotak, sejajar sumbu utama x , mm |
| b_f | adalah lebar sayap, mm |
| c_m | adalah koefisien lentur kolom sesuai Butir 7.4.3 |
| d | adalah tinggi penampang, mm |
| f_y | adalah tegangan leleh, MPa |
| f_{cr} | adalah tegangan kritis menurut Butir 9, MPa |
| f_{un}, f_{uv} | adalah tegangan normal dan tegangan gesek akibat beban terfaktor yang ditentukan dengan analisis elastis, MPa |
| H | adalah tinggi luar dari penampang kotak, tegaklurus sumbu utama x , mm |
| ϕ | adalah faktor reduksi kekuatan |
| ϕ_b | adalah faktor reduksi kuat lentur |
| λ_c | adalah parameter kelangsingan menurut Butir 9.2 |
| M_p | adalah momen plastis penampang $\leq 1,5 f_y S$, N-mm |
| M_{ux}, M_{uy} | adalah pada komponen struktur, di mana telah diperhitungkan kontribusi momen lentur orde kedua yang terjadi pada konfigurasi struktur yang telah berdeformasi, N-mm |
| M_{nx}, M_{ny} | adalah kuat lentur nominal penampang terhadap sumbu- x dan sumbu- y menurut Butir 8, N-mm |
| N_u | adalah kuat perlu komponen struktur (gaya aksial terfaktor yang terbesar (tarik atau tekan) yang bekerja), N |
| N_n | adalah kuat nominal aksial komponen struktur (tarik atau tekan), N |

Butir 12 KOMPONEN STRUKTUR KOMPOSIT

| | |
|----------|--|
| A_B | adalah luas daerah tumpuan pada beton, mm ² |
| A_c | adalah luas penampang beton, mm ² |
| A_r | adalah luas penampang tulangan longitudinal, mm ² |
| A_s | adalah luas penampang profil baja, mm ² |
| A_{sc} | adalah luas penampang penghubung geser jenis paku, mm ² |
| b | adalah lebar penampang persegi berongga, mm |

| | |
|-----------------|---|
| c_1, c_2, c_3 | adalah koefisien untuk perhitungan karakteristik material kolom komposit |
| C_f | adalah gaya tekan pada pelat beton untuk kondisi komposit penuh, N |
| D | adalah diameter luar penampang baja, mm |
| E | adalah modulus elastisitas baja, MPa |
| E_c | adalah modulus elastisitas beton, MPa |
| E_m | adalah modulus elastisitas untuk perhitungan kolom komposit, MPa |
| f_{cr} | adalah tegangan tekan kritis, MPa |
| f_{my} | adalah tegangan leleh untuk perhitungan kolom komposit, MPa |
| f_u | adalah kuat tarik putus penghubung geser jenis paku, MPa |
| f_y | adalah tegangan leleh profil baja, MPa |
| f_{yf} | adalah tegangan leleh bagian sayap profil baja, MPa |
| f_{yr} | adalah tegangan leleh tulangan longitudinal, MPa |
| f_{yw} | adalah tegangan leleh bagian badan profil baja, MPa |
| f'_c | adalah kuat tekan karakteristik beton, MPa |
| H_s | adalah tinggi penghubung geser jenis paku, mm |
| h | adalah tinggi bersih badan baja profil, mm |
| h_r | adalah tinggi nominal gelombang pelat baja berprofil, mm |
| I_s | adalah momen inersia penampang baja, mm ⁴ |
| I_{tr} | adalah momen inersia penampang balok komposit penuh yang belum retak, mm ⁴ |
| k_c | adalah faktor panjang efektif kolom |
| L_c | adalah panjang penghubung geser kanal, mm |
| L | adalah panjang komponen struktur, mm |
| M_n | adalah kuat lentur nominal, N-mm |
| M_{nx} | adalah kuat lentur nominal terhadap sumbu-x, N-mm |
| M_{ny} | adalah kuat lentur nominal terhadap sumbu-y, N-mm |
| M_{ux} | adalah kuat lentur perlu terhadap sumbu-x, N-mm |
| M_{uy} | adalah kuat lentur perlu terhadap sumbu-y, N-mm |
| N_r | adalah jumlah penghubung geser jenis paku pada setiap gelombang pelat berprofil di perpotongannya dengan balok, N |
| N_n | adalah kuat aksial nominal, N |
| N_u | adalah kuat aksial perlu, N |
| Q_n | adalah kapasitas geser untuk penghubung geser, N |
| r_m | adalah jari-jari girasi kolom komposit, mm |
| t_f | adalah tebal sayap, mm |

| | |
|--------------|---|
| t_w | adalah tebal badan, mm |
| w | adalah berat jenis beton, kg/m ³ |
| w_r | adalah lebar efektif gelombang pelat baja berprofil, mm |
| λ_c | adalah parameter kelangsingan |
| ϕ_b | adalah faktor reduksi kuat lentur |
| ϕ_c | adalah faktor reduksi kuat aksial tekan |
| ΣQ_n | adalah jumlah kekuatan penghubung-penghubung geser di sepanjang daerah yang dibatasi oleh momen maksimum dan momen nol, N |
| ω | adalah faktor tekuk |

Butir 13 **SAMBUNGAN**

| | |
|------------|---|
| A_b | adalah luas penampang bruto, mm ² |
| d | adalah kedalaman yang dipersiapkan untuk las, mm |
| d_b | adalah diameter baut nominal pada daerah tak berulir, mm |
| f_1, f_2 | adalah konstanta tegangan dalam perhitungan f_t , MPa |
| f_t | adalah tegangan tarik dengan memperhitungkan ada atau tidak adanya ulir baut pada bidang geser, MPa |
| f_u | adalah tegangan tarik putus pelat, MPa |
| f_u^b | adalah tegangan tarik putus baut, MPa |
| f_{uv} | adalah tegangan geser akibat beban terfaktor pada suatu baut, MPa |
| f_{uw} | adalah tegangan tarik putus material las, MPa |
| f_y | adalah tegangan leleh material, MPa |
| f_{yw} | adalah tegangan leleh material las, MPa |
| L_s | adalah jarak antara titik pengekang lateral efektif, mm |
| M_u | adalah momen lentur terfaktor atau momen perlu, N-mm |
| m | adalah jumlah bidang geser |
| N_n | adalah kuat tekan nominal komponen struktur, N |
| N_u | adalah gaya aksial terfaktor, N |
| n | adalah jumlah baut |
| R_d | adalah kuat rencana, N |
| R_n | adalah kuat nominal, N |
| R_{nw} | adalah kuat nominal sambungan las, N |
| R_u | adalah beban terfaktor atau kuat perlu, N |
| r_1, r_2 | adalah faktor modifikasi tegangan untuk memperhitungkan ada atau tidak adanya ulir baut pada bidang geser |
| s_g | adalah jarak pada arah tegak lurus gaya antara dua irisan yang berdekatan yang mengandung lubang baut, mm |
| s_p | adalah jarak pada arah gaya antara dua irisan yang berdekatan yang mengandung lubang baut, mm |

| | |
|------------|--|
| T_b | adalah gaya pratarik baut minimum yang diberikan pada saat pengencangan, N |
| T_d | adalah kuat tarik rencana, N |
| T_n | adalah kuat tarik nominal, N |
| T_u | adalah gaya tarik terfaktor, N |
| t, t_p | adalah tebal pelat, mm |
| t_t | adalah tebal rencana las, mm |
| t_w | adalah tebal minimum las sudut, mm |
| V_d | adalah kuat geser rencana baut, N |
| V_n | adalah kuat geser nominal baut, N |
| V_u | adalah gaya geser terfaktor, N |
| δ | adalah faktor amplifikasi momen |
| δ_b | adalah faktor amplifikasi momen untuk komponen struktur yang tidak dapat bergoyang |
| δ_s | adalah faktor amplifikasi momen untuk komponen struktur yang dapat bergoyang |
| ϕ | adalah faktor reduksi kekuatan |
| ϕ_f | adalah faktor reduksi kekuatan saat fraktur |
| ϕ_y | adalah faktor reduksi kekuatan saat leleh |

Butir 14 KETAHANAN API

| | |
|-----------|---|
| $f_y(T)$ | adalah tegangan leleh baja pada T °C |
| $f_y(30)$ | adalah tegangan leleh baja pada 30 °C |
| h_i | adalah ketebalan material pelindung api, mm |
| k_i | adalah koefisien-koefisien regresi |
| k_{sm} | adalah rasio luas permukaan terekspos api terhadap massa, m ² /ton |
| t | adalah waktu dari saat awal pengujian, menit |
| T | adalah temperatur baja dalam °C |
| T_1 | adalah temperatur batas baja, °C, $500^\circ\text{C} \leq T_1 \leq 750^\circ\text{C}$ |

Butir 15 KETENTUAN PERENCANAAN TAHAN GEMPA UNTUK STRUKTUR BANGUNAN BAJA

| | |
|-----------------|--|
| A_g | adalah luas penampang bruto kolom, mm ² |
| b_{cf} | adalah lebar sayap kolom, mm |
| C_a dan C_v | adalah koefisien percepatan gempa |
| d_b | adalah tinggi bruto penampang balok, mm |
| d_c | adalah tinggi keseluruhan penampang kolom, mm |
| d_z | adalah tinggi daerah panel di antara pelat terusan, mm |
| D | adalah pengaruh beban mati yang disebabkan oleh berat elemen struktur dan beban tetap pada struktur, N |
| e | adalah panjang Link, mm |

| | |
|-----------------|---|
| EI | adalah kekakuan lentur elastis batang tepi segmen khusus |
| E_h | adalah pengaruh dari komponen horizontal gaya gempa |
| f_{yc} | adalah tegangan leleh penampang kolom, MPa |
| f_y | adalah tegangan leleh bahan baja, MPa |
| I | adalah faktor kepentingan struktur, mm ⁴ |
| L | adalah pengaruh beban hidup akibat pengguna gedung dan peralatan bergerak |
| L | adalah panjang bentang SRBPMK, mm |
| L_s | adalah panjang segmen khusus, mm |
| M_{nc} | adalah kuat lentur nominal batang tepi pada segmen khusus, N-mm |
| N_{nt} | adalah kuat tarik aksial nominal batang diagonal pada segmen khusus, N |
| N_{nc} | adalah kuat tekan aksial nominal batang diagonal pada segmen khusus, N |
| N_{uc} | adalah gaya aksial tekan terfaktor pada kolom, N |
| R | adalah faktor modifikasi respons (lihat Tabel 15.2-1) , N |
| R_y | adalah faktor modifikasi tegangan leleh sesuai Butir 15.5.2, N |
| t_p | adalah tebal total daerah panel, termasuk pelat pengganda, mm |
| t_{cf} | adalah ketebalan dari sayap kolom, mm |
| t | adalah tebal pelat badan penampang kolom atau pelat pengganda pada daerah panel, mm |
| T | adalah waktu getar dasar struktur, N |
| V | adalah gaya geser dasar rencana total, N |
| V_{maks} | adalah gaya geser dasar rencana maksimum, N |
| $\sum M_{pc}^*$ | adalah jumlah momen-momen kolom di bawah dan di atas sambungan pada pertemuan antara as kolom dan as balok. |
| $\sum M_{pb}^*$ | adalah jumlah momen-momen balok-balok pada pertemuan as balok dan as kolom. |
| V_n | adalah kuat geser nominal Link, N |
| w_z | adalah lebar daerah panel di antara kedua sayap kolom, mm |
| W_t | adalah berat total struktur, N |
| Z_c | adalah modulus plastis penampang kolom, ? |
| α | adalah sudut antara batang diagonal dengan horizontal |
| Ω_0 | adalah faktor kuat cadang struktur (lihat Tabel 15.2-1) |

Butir 17

PABRIKASI

| | |
|------------|---|
| a_0, a_1 | adalah dimensi ketidak-sikuan sayap, mm |
| a_2, a_3 | adalah dimensi diagonal penampang kotak, mm |
| b | adalah dimensi terkecil pelat badan, mm |

| | |
|------------|---|
| b_f | adalah lebar sayap, mm |
| d | adalah tinggi penampang, mm |
| d_0 | adalah keseluruhan tinggi penampang termasuk dimensi ketidak-sikuan, mm |
| d_1 | adalah tinggi bersih antara sayap dengan mengabaikan <i>fillet</i> atau las, mm |
| e | adalah dimensi penyimpangan-sumbu pelat badan, mm |
| s | adalah ketidak-sikuan dari ujung pemotongan profil |
| L | adalah panjang komponen struktur, mm |
| Δ_f | adalah ketidak-dataran pelat sayap, mm |
| Δ_v | adalah penyimpangan terhadap vertikal dari pelat badan pada suatu tumpuan |
| Δ_w | adalah ketidak-dataran badan |

